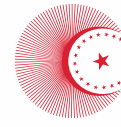




MUNZUR
ÜNİVERSİTESİ
2008

ISSN: 2149-0910
VOLUME: 9 ISSUE: 2
YEAR:2023



TÜRKİYE
YÜZYILI

100
TÜRKİYE CUMHURİYETİNİN YÜZÜNCÜ YILI

INTERNATIONAL JOURNAL OF PURE AND APPLIED SCIENCES



0428 213 17 94

ijpas@munzur.edu.tr

www.munzur.edu.tr

MUNZUR UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
INTERNATIONAL JOURNAL OF PURE AND APPLIED SCIENCES
ISSN: 2149-0910
IJPAS is a peer reviewed journal
Published biannually
<http://dergipark.gov.tr/ijpas>

Owner

Prof. Dr. Kenan PEKER
Rector

Editors

Assoc. Prof. Dr. Murat KORUNUR, Munzur University, Tunceli, Turkey
mkorunur@munzur.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. İnan ÜNAL, Munzur University, Tunceli, Turkey
inanunal@munzur.edu.tr

Associate Editor

Asst. Prof. Dr. Salih BAŞKUTLU, Munzur University, Tunceli, Turkey
salihbaskutlu@munzur.edu.tr



This journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
This journal is covered by **TR Index, Eurasian Scientific Journal Index, COSMOS IF, Index Copernicus, Sparc Indexing, Scientific Indexing Services, DOAJ** database systems.

Editorial Board

Prof. Dr. Kenan PEKER	Munzur University, Tunceli, Turkey
Prof. Dr. Ali Fuat GUNERI	Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey
Prof. Dr. Eren OZCEYLAN	Gaziantep University, Gaziantep, Turkey
Prof. Dr. Hasan AKGUL	Akdeniz University, Antalya, Turkey
Prof. Dr. Muharrem INCE	Munzur University, Tunceli, Turkey
Prof. Dr. Mustafa DORUCU	Firat University, Tunceli, Turkey
Prof. Dr. Seyit Ahmet OYMAK	Marmara University, Istanbul, Turkey
Prof. Dr. Numan YILDIRIM	Munzur University, Tunceli, Turkey
Prof. Dr. Nuran CIKCIKOGLU YILDIRIM	Munzur University, Tunceli, Turkey
Prof. Dr. Timar ADRIAN	University of Oradea, Oradea, Romania
Prof. Dr. Valentim NUNES	Instituto Politecnico de Tomar, Tomar, Portuguese
Prof. Dr. Zakia HAMMOUCH	University of Moulay Ismail Errachidia, Morocco
Assoc. Prof. Dr. Abdelhadi Abdel WAHAB	University of Arabian Gulf, Kingdom of Bahrain
Assoc. Prof. Dr. Ebru KUYUMCU SAVAN	Inonu University, Malatya, Turkey
Assoc. Prof. Dr. Erkan CELIK	Istanbul University, Istanbul, Turkey
Assoc. Prof. Dr. Hüseyin SEVİK	Mersin University, Mersin, Turkey
Assoc. Prof. Dr. Nevin TURAN OZEK	Mus Alparslan University, Mus, Turkey
Assoc. Prof. Dr. Zeki OMAC	Munzur University, Tunceli, Turkey
Asst. Prof. Dr. Erdem ISIK	Munzur University, Tunceli, Turkey
Dr. Nuruol Syuhadaa MOHD	Malaya University, Kuala Lumpur, Malaysia

Advisory Board

Prof. Dr. Alev TASKIN GUMUS	Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey
Prof. Dr. Hikmet GECKIL	Inonu University, Malatya, Turkey
Prof. Dr. Timar ADRIAN	University of Oradea, Oradea, Romania
Prof. Dr. Sevcen KURUM	Firat University, Elazig, Turkey
Prof. Dr. Vedat UYAK	Pamukkale University, Denizli, Turkey
Prof. Dr. Valentim NUNES	Instituto Politecnico de Tomar, Tomar, Portuguese
Prof. Dr. Yakup DEMIR	Firat University, Elazig, Turkey
Prof. Dr. M. Zafer KOYLU	Dicle University, Diyarbakir, Turkey
Prof. Dr. Zakia HAMMOUCH	University of Moulay Ismail Errachidia, Morocco
Assoc. Prof. Dr. Abdelhadi Abdel WAHAB	University of Arabian Gulf, Kingdom of Bahrain

CONTENTS

Research Articles

Experimental Investigation of a Heating System with Air Solar Collector Havalı Güneş Kollektörlü Bir Isıtma Sisteminin Deneysel Olarak İncelenmesi Aynur Uçar, Abdurrahman Oral	223-230
Effects of Macerated and Cold Pressed Sesame (<i>Sesamum indicum L.</i>) Oil on Antioxidant Enzyme Activities, Hematological Parameters, Nitro Blue Tetrazolium (Nbt) Activity and Proximate Composition of Rainbow Trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i> , Walbaum, 1792) at High Stocking Density Masere ve Soğuk Pres Susam (<i>Sesamum indicum L.</i>) Yağının, Yüksek Yoğunlukta Stoklanmış Gökkuşuğu Alabalıkları (<i>Oncorhynchus mykiss</i> , Walbaum, 1792)'nın Antioksidan Enzim Aktiviteleri, Hematolojik Parametreleri, Nitro Blue Tetrazolium (NBT) Aktivitesi ve Et Verimi Üzerine Etkileri Başar Altınterim	231-239
Mechanical and Metallographic Investigation of Natural Fiber Reinforced (Jute-Linen-Hemp) Composite Materials Doğal Elyaf Takviyeli (Jüt-Keten-Kenevir) Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Metalografik Olarak İncelenmesi Yahya Taşgın, Seçkin Kandemir	240-249
Study on Geant4 Simulation of Cherenkov Photons Generation and Propagation in Quartz Core Fibers Kuvars Çekirdekli Fiberlerde Cherenkov Fotonlarının Üretimi ve İletimi Üzerine Geant4 Simülasyon Çalışması Orhan Aydılek, Suat Ozkorucuklu, Salim Cerci, Deniz Sunar Cerci	250-260
Investigation of Thermal, Microstructure and Shape Memory Behavior of PLA-PEG-PHA Ternary Polymer Blends PLA-PEG-PHA Üçlü Polimer Karışımlarının Termal, Mikroyapı ve Şekil Hafıza Davranışlarının İncelenmesi Ecem Özen Öner	261-269
Ultra-Slow-roll Inflation Dynamics in $f(R, \phi, X)$ Gravity $f(R, \phi, X)$ Kütleçekiminde Ultra Yavaş Dönüştü Enflasyon Dinamikleri Ali İhsan Keskin	270-273
Evaluation of Prostate Cancer via Machine Learning Prostat Kanserinin Makine Öğrenimi Yoluyla Değerlendirilmesi Fatma Söğüt, Evrim Ersin Kangal	274-281
A Boundary Value Problem with Retarded Argument Containing an Eigenparameter in the Transmission Condition Geçiş koşulunda Özdeğer Parametresi İçeren Geç Kalan Argümanlı Bir Sınır Değer Problemi Özge Işık Gülmezler, Özgür Mızrak	282-288

Sason Strawberry in Solar Chimney Greenhouse Cover Field Analysis of Drying Performance Güneş Bacası Sera Örtüsü Alanında Sason Çileğinin Kurutma Performansının İncelenmesi Hakan Karakaya, Aytaç Çetinbaş	289-307
Investigation of Munzur University Service Buildings in terms of the Power Quality Munzur Üniversitesi Hizmet Binalarının Güç Kalitesi Yönünden İncelenmesi Gürkan Tam, Bilgin Zengin.....	308-322
Energy Spectrum and Properties of SiC: Using Two-Photon Absorption for Different Harmonics SiC' ün Enerji Spektrumu ve Özellikleri: Farklı Harmonikler için İki Foton Emilimi Kullanma Dilan Alp	323-332
Scattering State Solutions of Vector Bosons Interacting with Sun Potential Sun Potansiyel ile Etkileşen Vektör Bozonlarının Saçılma Durumu Çözümleri Ahmet Taş.....	333-343
Effect of Copper Oxide Nanoparticles on Prostate Cancer PC3 Cells Bakır Oksit Nanopartiküllerinin Prostat Kanseri PC3 Hücreleri Üzerindeki Etkisi Mehran Aksel, Dursun Karaağaç, Tolga Kaya, Fatih Ağırakar, Muhammed Buğra Kaya, Pınar Kızılcık, Alperen Kuru	344-351
Improving the Non-Stick Feature of Enamel Coatings by Increasing the Wet Angle Islatma Açısı Arttırılarak Emaye Kaplı Parçaların Gıda Temasında Yapışmazlık Özelliğinin Geliştirilmesi Tuğçe Nazlı Kaya, Aysun Ayday	352-360
Currency Risk Analysis on Construction Cash Flows Yapım Projelerinde Nakit Akışı Üzerindeki Kur Riski Analizi Özlem Tüz Ebese, Hakan Yaman.....	361-368
Systematic Literature Review and Scientific Maps on Ecological Architecture and Eco-Architecture Ekolojik Mimarlık ve Eko-Mimari Üzerine Sistematik Literatür Taraması ve Bilimsel Haritaları Emine Banu Burkut, Murat Dal.....	369-380
Detection of Android Based Applications with Traditional Metaheuristic Algorithms Geleneksel Metasezgisel Algoritmalar ile Android Tabanlı Uygulamaların Tespiti Mehmet Şirin Beştaş, Özlem Batur Dinler.....	381-392
Arf Numerical Semigroups with Multiplicity 8 Katlılığı 8 Olan Arf Sayısal Yarıgrupları Meral Süer, Halil İbrahim Karakaş, Sedat İlhan	393-401
Effect of Different Heat Treatment Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of CuZn30 and CuZn10 Brass Alloys Used in the Defense Industry Savunma Sanayi'de Kullanılan CuZn30 ve CuZn10 Pirinç Alaşımlarına Uygulanan Farklı Isıl İşlem Parametrelerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi Uğur Çalığı, Doğan Bölükbaşı, Nida Darcan	402-410

Numerical Analysis of The Thin Film Solar Cell Modelled Based on In Doped CdS Semiconductor In Katkılı CdS Yarı İletkenine Dayalı Olarak Modellenen İnce Film Güneş Pili'nin Sayısal Analizi Serap Yigit Gezgin, Silan Baturay, Hamdi Sukur Kilic	411-421
The Research and Comparison of Fish Habits of Consumption in Tunceli (Pertek and Çemişgezek) and Elazığ (Keban and Sivrice) Districts Tunceli (Pertek ve Çemişgezek) ile Elazığ (Keban ve Sivrice) İlçelerinde Balık Tüketim Alışkanlıklarının Araştırılması ve Karşılaştırılması Muhammet Kürşat Durna, Engin Şeker, Nermin Karaton Kuzgun	422-433

Havalı Güneş Kolektörlü Bir Isıtma Sisteminin Deneysel Olarak İncelenmesi

Aynur Uçar^{1*}, Abdurrahman Oral²

¹Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Müh. Bölümü, Elazığ, Türkiye

²Dicle Üniversitesi, Bismil Meslek Yüksekokulu, Diyarbakır, Türkiye

*aucar@firat.edu.tr , aoral@dicle.edu.tr 

Makale gönderme tarihi:04.07.2023, Makale kabul tarihi: 27.10.2023

Öz

Bu çalışmada, Diyarbakır ilinde bulunan bir güvenlik kabininin güneş enerjisinden yararlanılarak ısıtılması amaçlanmıştır. Kabin içi sıcaklık, referans sıcaklığı olan 21°C'nin altına düştüğünde ısıtma işlemi yapılmıştır. İmal edilen güneş enerjisi depolamalı bir ısıtma sisteminde iki adet düzlemsel havalı güneş kolektörü, ısı deposu kullanılmıştır. Güneş enerjisi, içerisinde 260 adet 1.5 lt'lik su şişesi bulunan ahşap duvarlı ve polietilen köpüğüyle yalıtılmış bir ısı deposunda depolanmaktadır. Isıtma ihtiyacı olduğunda, ısı deposundan çekilerek kabinin ısıtılması sağlanmaktadır. Bu çalışmada, bu sistemin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Isı deposunda depolanan günlük ortalama ısı ve ekserji miktarları sırasıyla 2.15 kW ve 386 W elde edilmiştir. Ortalama günlük net enerji ve ekserji verimlerinin sırasıyla %83 ve %55.3 olarak bulunmuştur. Ayrıca, ısı deposundan geri kazanılan ortalama günlük ısı ve ekserji miktarları sırasıyla 2.25 kW ve 725 W olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Isı depolama, konut ısıtma, enerji analizi, ekserji analizi

Experimental Investigation of a Heating System with Air Solar Collector

Abstract

In this study, it is aimed to heat a security cabinet in Diyarbakır by using solar energy. Heating was performed when the cabin temperature fell below the reference temperature of 21°C. In a solar energy storage heating system, two flat plate solar collectors and a heat store were used. Solar energy is stored in a heat storage with wooden walls and insulated with polyethylene foam. 260 plastic water bottles, each 1.5 l were lined horizontally into the storage tank. When there is a need for heating, the cabin is heated by withdrawing heat from the heat storage. In this study, the energy and exergy analysis of this system was made. The average daily rate of the heat kept inside the heat store was 2.15 kW and thermal exergy rate was 386 W. The average mean energy efficiency and exergy efficiency were obtained as 83% and 55.3%, respectively. The average daily heat rescued from the heat store was defined as 2.25 kW and thermal exergy was 725 W.

Keywords: Heat storage, building heating, energy analyses, exergy analyses

GİRİŞ

Günümüzde, özellikle artan enerji talebinin büyük ölçüde fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Bunun sonucu olarak, küresel ısınma ve çevre kirliliği sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu sorunları azaltmak ve fosil yakıtların gelecekte tükeneceği düşüncesi, yenilenebilir enerji kaynakları ile etkin ve ucuz ısı depolama sistemlerinin geliştirilmesi çalışmalarının yaygınlaşmasına neden olmuştur.

Mevsimlik ısı depolamalı bir güneş enerjisi destekli ısı pompalı sistemler önceki çalışmalarda incelenmiştir (Pahud, 2000; Uçar ve İnallı, 2005;

Yumrutaş ve Ünsal, 2012; Zhang vd., 2007). Güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemlerinin bazı avantajları daha önce belirtilmiş ve bu sistemler konut ısıtma ve soğutma için en temiz, enerji açısından en verimli ve uygun maliyetli sistemler olarak kabul edilmiştir (Wang ve Zhao, 2005). Öztürk (2005), 180 m² alanlı bir serada, faz değiştiren malzeme (FDM) olarak parafin mumu kullanarak, mevsimlik ısı depolamalı bu sistemin performansını araştırmıştır. Sistem verimliliğini değerlendirmek için enerji ve ekserji analizlerini uygulamıştır. Hazami ve ark.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1319242

(2009), yeni tasarlanmış bir ısı depolama sisteminin performansını araştırmışlardır. Sistemleri esas olarak, 5 m³ boyutunda bir tahta kasadan oluşan bir ısı depolama ünitesinden, güneş kolektörü ve açıklıklı bir polipropilen kapiler ısı eşanjörü ağından oluşur. Özgener ve Hepbaşlı (2005), 50 m dikey U-bükümlü bir ısı eşanjörüne sahip bir güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompalı sera sisteminin performans analizini incelemişlerdir. Badescu (2002), güneş enerjili destekli ısı pompalı bir ısıtma sisteminin termodinamiğın birinci ve ikinci yasa analizini inceledi. Çalışmasında, Fotovoltaik sistemin, ısı pompası kompresörünü çalıştırmak için gereken tüm enerjiyi sağladığını görmüştür. Dikici ve Akbulut (2008), düz plakalı güneş kolektörlü bir güneş enerjili destekli ısı pompalı bir ısıtma sisteminin performansını araştırdılar.

Isıl sistemler için Termodinamiğın ikinci yasa veya kullanılabilirlik analizi olarak da bilinen ekserji analizi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Ashouri ve arkadaşları, 2018; Gholami ve arkadaşları, 2018; Mirzaei ve arkadaşları 2018; Naseri ve arkadaşları 2017).

Bu çalışmada, Mart ve Nisan aylarında Diyarbakır ilinde bulunan bir güvenlikçi kabininin ısıtılması amacıyla imal edilen bir düz plakalı güneş kolektörlü ısı depolama sisteminin performansı incelenmiştir. Isıtma sisteminin verimliliğini değerlendirmek için enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır.

MATERYAL VE METOT

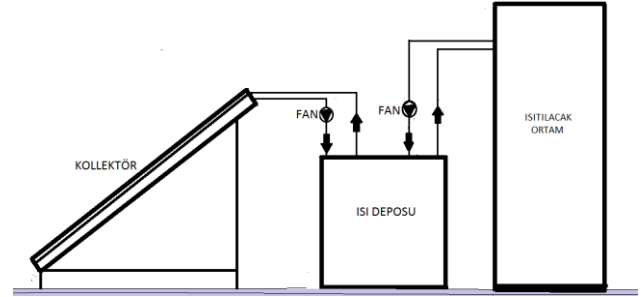
Deney Düzenegi

Bu çalışmada incelenen güneş enerjisi depolamalı ısıtma sistemi, güneş kolektörü, ısı deposu ve ısıtılacak mahal olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Sistem, güneş kolektörü ile güneşten sağlanan ısı enerjisi ısı deposuna aktarılmaktadır. Isı deposu içerisinde bulunan şişeler içerisindeki 390 litre suya bu ısı depolanmaktadır. Daha sonra bu ısı enerjisi, ısıtma ihtiyacı olduğu saatlerde güvenlikçi kabininin ısıtılmasında kullanılmaktadır. Şekil 1'de güneş enerjili bir ısıtma sisteminin prensip şeması verilmektedir.

Deney düzeneginde, güneş ışınımının toplanması için iki adet havalı düzlemsel güneş kolektörü kullanılmış olup, bu kolektörlerin yüzey

alanı 3.36 m² ve 0.89 mx1.89m boyutlarındadırlar. Kolektörlerin her biri 34.36°'lik optimum eğim açısıyla ve güneşe bakacak şekilde kurulmuşlardır. Şekil 2'de düzlemsel güneş kolektörleri gösterilmektedir.

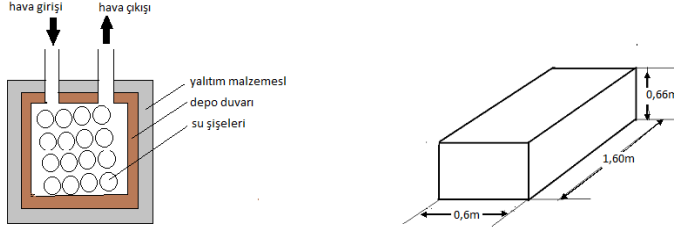
Isı deposu, 3.15 cm kalınlığında ahşap bir malzemeden yapılmıştır. Depo, 0.6336 m³ hacminde olup, 2.4 cm kalınlığında polietilen köpük ısı yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır. Isı deposu içerisinde depolama materyali olarak 260 adet üst üste ve yatay bir şekilde dizilmiş 1.5 litrelik plastik su şişesi kullanılmıştır. Deponun ölçüleri ve görünümü Şekil 3' de verilmektedir.



Şekil 1. Güneş enerjili bir ısıtma sisteminin prensip şeması

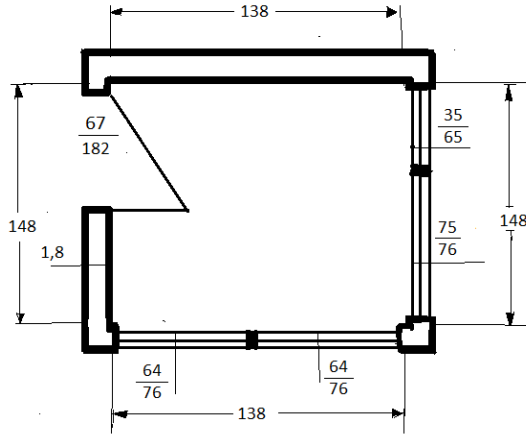


Şekil 2. Düzlemsel güneş kolektörleri



Şekil 3. Isı deposu detayları

Bu çalışmada, bir güvenlikçi kabini ısıtılmaktadır. Güvenlikçi kabinin taban ölçüleri 1.38mx1.48m olup, 2.36 m yüksekliğindedir. Kabinin tavanı ve duvarlarında 18 mm kalınlığında PVC lambri kullanılmıştır. Kabinin zeminde, 75 mm kalınlığında donatısız beton ve 8 mm kalınlığında polietilen köpük kullanılmıştır. Şekil 4’de güvenlikçi kabinin ayrıntılı ölçüleri gösterilmektedir.



Şekil 4. Kabinin üst görünüşü

2014 yılının Mart ve Nisan aylarında deneyler yapılmıştır. Kolektörün giriş ve çıkışındaki hava sıcaklıkları, kolektör boyunca hava akışının hızı ve kolektör üzerindeki güneş ışınımı her deney sırasında ölçülmüştür. Kolektörün giriş ve çıkışındaki hava sıcaklıkları ile ısı deposu ve ortam sıcaklığı termometreler (-20, +120°C) kullanılarak ölçülmüştür. İki güneş kolektörü, 313 m³/s debisinde ve 120 W güce sahip radyal bir fan ile birleştirilmiştir.

HESAPLAMA YÖNTEMİ

Kabinin Isıl Kayıpları

Bir konutun ısı ihtiyacı, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Standardına göre, binanın duvar tipi, yalıtım durumu ve güneş ışınımı durumu gibi yapısal özellikleri ile iklim koşulları gibi birçok faktöre bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bir konuttan olan ısı kayıpları üç şekilde olmaktadır. İletim ve taşınım yoluyla meydana gelen ısı kaybı:

$$Q_{i,t} = Z.A.U.(T_{iç} - T_{dış}) \quad (1)$$

hesaplanmaktadır. Burada U toplam ısı transfer katsayısıdır. Z değeri,

$$Z = 1 + \%Z_D + \%Z_W + \%Z_H \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Z_D değeri %15, Z_W ve Z_H değerleri 0 olarak alınmıştır. Kapı ve pencerelerden sızıntı ile meydana gelen ısı kayıpları,

$$Q_{sız} = \frac{1}{3.6} [\sum(a.l)R.H.\Delta T.Z_e] \quad (3)$$

Burada; R oda durum katsayısı ve a sızdırganlık katsayısıdır. a değeri plastik tek camlı pencere için 2.0 m³/mh olarak, R değeri 0.9 olarak, H değeri 2.43 kJ/m²K olarak ve Z_e değeri ise her iki dış duvarında pencere olan odalar için 1.2 olarak alınmıştır. Havalandırma yoluyla meydana gelen ısı kaybı;

$$Q_h = n.\rho.V.c_p.\Delta T \quad (4)$$

ile hesaplanır. Burada n değeri, hava değişim sayısıdır.

Enerji ve Ekserji analizi

Güneş kolektörün için faydalı ısı enerjisi miktarı Q_k ,

$$Q_k = \eta_k A_k I_e \quad (5)$$

veya

$$Q_k = m_h \cdot c_p \cdot (T_{kog} - T_{koç}) \quad (6)$$

eşitlikleriyle hesaplanmaktadır. Güneş kolektörleri için birinci yasa verimi, kolektörden sağlanan faydalı ısı miktarının güneş kolektör yüzeyine düşen toplam güneş ışınımına oranıyla bulunur:

$$\eta_k = \frac{m_h c_p (T_{kog} - T_{koç})}{A_k I_e} \quad (7)$$

Güneş kolektöründen ısı deposuna aktarılan ısı transfer miktarı (Ucar ve Oral, 2021),

$$\dot{Q}_t(t) = \dot{m}_1 \rho c_p [T_i(t) - T_o(t)] \quad (8)$$

Güneş kolektöründen ısı deposuna aktarılan ısı transfer miktarı ile ısı deposundan olan kayıp ısı transfer miktarı arasındaki fark, ısı deposunda depolanan ısı miktarını vermektedir (Öztürk and Başçetinçelik, 2003):

$$\dot{Q}_s(t) = \dot{Q}_t(t) - \dot{Q}_l(t) \quad (9)$$

Isı deposundan kayıp olan ısı transfer miktarı,

$$\dot{Q}_l(t) = UA_s [T_m(t) - T_s(t)] \quad (10)$$

Enerji verimi, ısı deposuna giren ısı transfer miktarının ısı deposundan kaybolan ısı miktarına oranıdır ve aşağıdaki eşitlikten hesaplanır,

$$\eta_{c,total}(t) = \frac{\dot{Q}_s(t)}{\dot{Q}_t(t)} \quad (11)$$

Isı deposundan çekilen ısı miktarı,

$$\dot{Q}_d(t) = \dot{m}_2 \rho c_p [T_o(t) - T_i(t)] \quad (12)$$

Güneş kolektöründen ısı deposuna aktarılan ekserji miktarı (Dincer and Rosen, 2001),

$$\dot{E}x(t) = \dot{Q}_t(t) - T_{os} \dot{m}_1 \rho c_p \ln \frac{T_i(t)}{T_o(t)} \quad (13)$$

Isı deposuna aktarılan ekserji miktarı ile ısı deposundan kayıp olan ekserji miktarı arasındaki fark, ısı deposunda tutulan ekserji miktarını vermektedir ve

$$\dot{E}x_s(t) = \dot{E}x_t(t) - \dot{E}x_l(t) \quad (14)$$

hesaplanmaktadır. Sistemin ısı deposundan kaybolan ekserji miktarı,

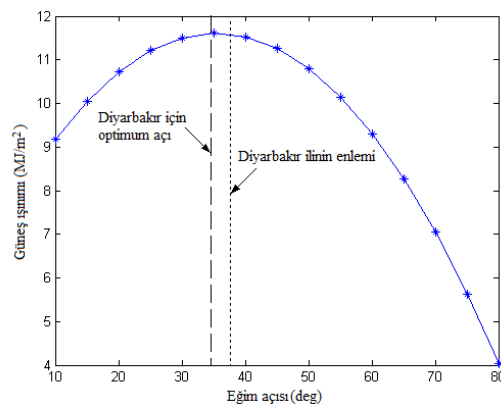
$$\dot{E}x_l(t) = \dot{Q}_l(t) \left[\frac{T_s(t)}{T_m(t)} \right] \quad (15)$$

bulunmaktadır. Ekserji verimi,

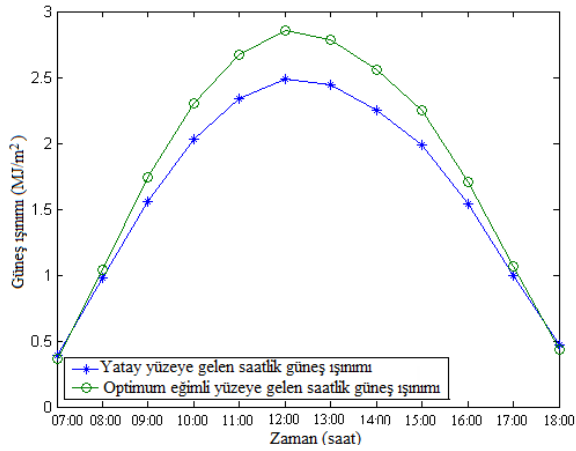
$$\eta_{exergy,net}(t) = \frac{\dot{E}x_s(t)}{\dot{E}x_t(t)} \quad (16)$$

BULGULAR VE TARTIŞMA

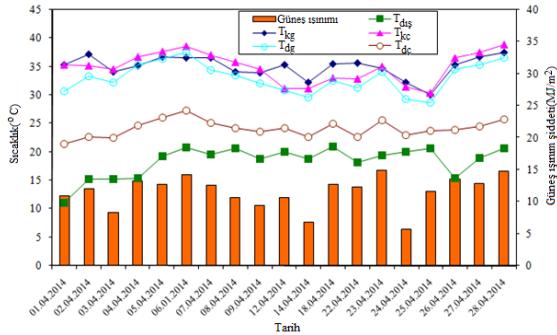
Önceki bölümlerde sunulan enerji ve ekserji analizi ile ilgili hesaplamalar MATLAB programı kullanılarak çözülmüştür. Şekil 5'de güneş kolektör yüzeyindeki güneş ışınımının Diyarbakır için eğim açısı ile aylık değişimi gösterilmektedir. Mart ve Nisan aylarına ait her bir gün için kolektörün optimum eğim açısı bulunmuştur ve 1 Mart ile 30 Nisan tarihleri arasında çalışan sistemimizde ortalama optimum eğim açısı 34.36° olarak belirlenmiştir. Kolektör tarafından alınan güneş ışınımı bu aylarda bu optimum eğim açısında maksimum değere ulaşmaktadır.



Şekil 5. Kolektör yüzeyindeki güneş ışınımının Diyarbakır için eğim açısı ile aylık değişimi



Şekil 6. Yatay ve eğik yüzeye gelen güneş ışınımı değerlerinin değişimi

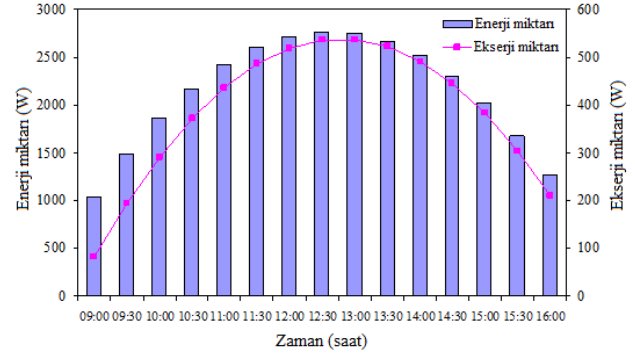


Şekil 7. Sıcaklık ve güneş ışınımı şiddetinin zamanla değişimi

Şekil 6'da yatay bir yüzeye ve optimum eğim açısında monte edilmiş bir yüzeye gelen güneş ışınımının saatlik değişimleri gösterilmektedir. Kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımı miktarında yatay konuma göre yaklaşık %13 oranında bir artış olduğu görülmektedir. Şekil 7'de sıcaklık ve güneş ışınımı şiddetinin zamanla değişimleri gösterilmektedir. Güneş ışınımı şiddeti ve dış ortam sıcaklığının yüksek olduğunda güvenlik kabininin giriş ve çıkışında hava sıcaklıklarının daha yüksek olduğu görülmektedir.

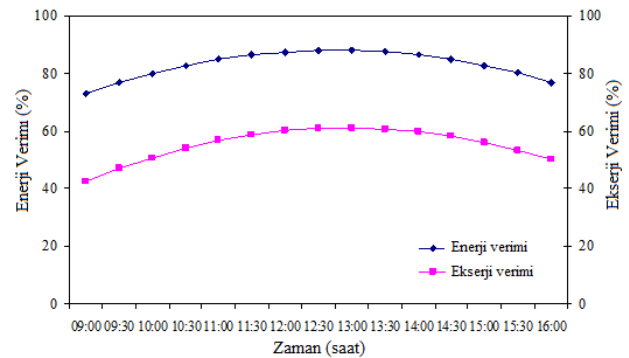
Şekil 8'de depolama süresince ısı deposunda depolanan enerji ve ekserji miktarlarının günlük değişimi gösterilmektedir. Isı deposunda depolanan ısı miktarı 1.03 ile 2.76 kW arasında değişirken, ısı depolama ünitesinde depolanan ekserji miktarı ise 80 W ile 535 W aralığında değişmektedir. Maksimum enerji ve ekserji değerleri saat 14:00'te elde edilmiştir. Ortalama saatlik enerji ve ekserji verimlerinin zamanla değişimi Şekil 9'da gösterilmiştir. Saat 09:00 ve 17:00 arasında enerji verimliliğinin %73 ila 88

arasında değişirken, ekserji verimi ise %42 ile %61 arasında değişmektedir. Enerji ve ekserji verimleri maksimum değerlerine saat 13:00'de ulaşmaktadır. Ortalama günlük enerji ve ekserji verimliliklerinin sırasıyla %83 ve % 55.3 olarak hesaplanmıştır.



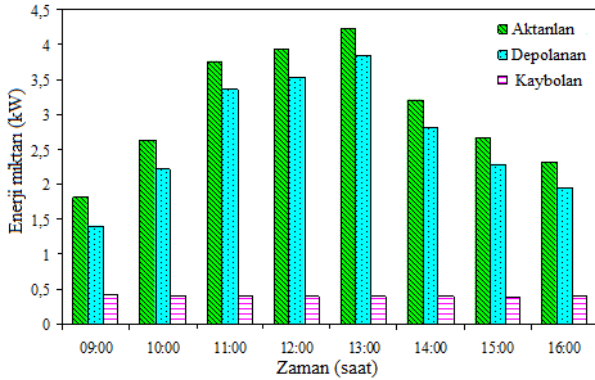
Şekil 8. Depolama süresince ısı deposunda depolanan enerji ve ekserji miktarlarının günlük değişimi

Şekil 10 ve Şekil 11'de ısı deposuna aktarılan, depolanan ve kaybolan enerji ve ekserji miktarlarının günlük değişimi gösterilmektedir. Isı deposuna aktarılan ve depolanan günlük ortalama enerji miktarları sırasıyla 3 ve 2.67 kW olarak bulunmuştur. Isı deposunda kaybolan enerji miktarları ise 0.38-0.42 kW aralığındadır. Şekil 11'de ısı deposuna aktarılan, depolanan ve kaybolan ekserji miktarlarının günlük değişimini göstermektedir. Isı deposunda depolanan ekserji miktarı 170-675 W aralığında bulunmuştur. Isı deposunda aktarılan ve depolanan ortalama günlük ısı ekserji miktarı sırasıyla 512 ve 433 W olmuştur. Isı deposunda günlük ortalama ekserji kaybı ise 79.1 W bulunmuştur.

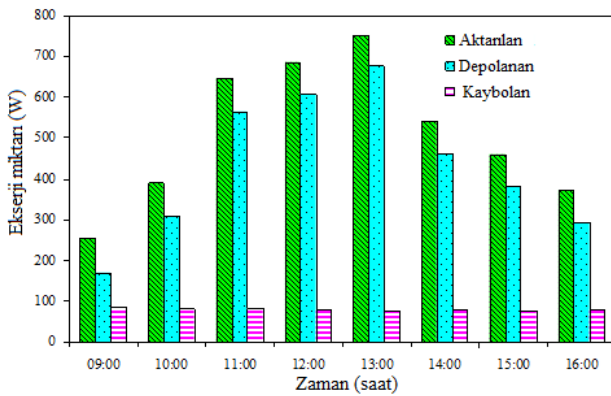


Şekil 9. Sistemin enerji ve ekserji verimlerinin saatlik değişimi

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1319242

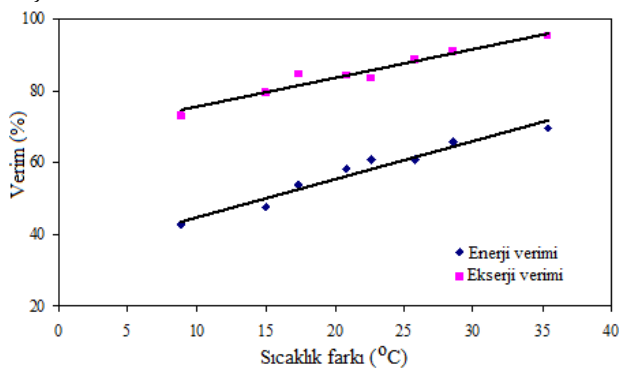


Şekil 10. Isı deposuna aktarılan, depolanan ve kaybolan enerji miktarlarının günlük değişimi



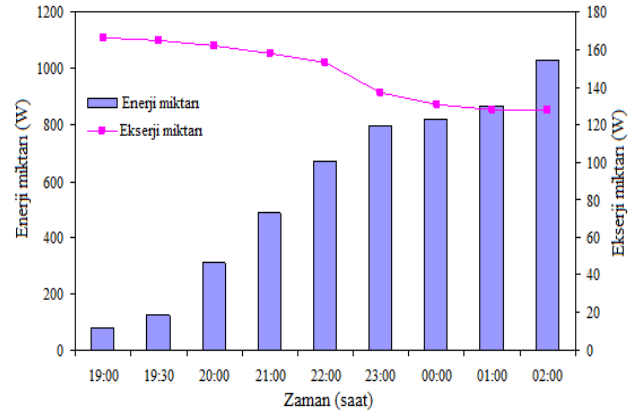
Şekil 11. Isı deposuna aktarılan, depolanan ve kaybolan ekserji miktarlarının günlük değişimi

Isı deposunun giriş ve çıkışındaki ısı transfer akışkanının sıcaklık farkının, enerji ve ekserji verimlerinin deneysel ve teorik değerlerine etkisi Şekil 12'de gösterilmiştir. Şekilden deneysel ve teorik sonuçların uyumlu olduğu görülmektedir. Sıcaklık farkı arttıkça enerji ve ekserji verimleri de artmaktadır. Başlangıçta, ısı deposunun giriş ve çıkışındaki ısı transfer akışkanının sıcaklık farkı küçük iken zamanla artmaktadır.

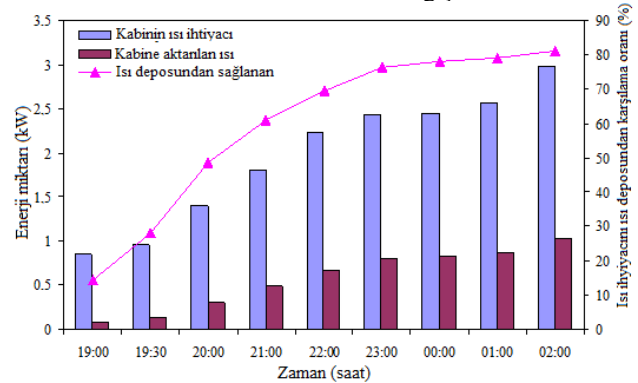


Şekil 12. Isı depolama sisteminin deneysel ve teorik verimi üzerinde sıcaklık farkının etkisi

Şekil 13'de ısı deposundan çekilen ısı ve ekserji miktarlarının zamanla değişimi verilmektedir. Isı deposundan çekilen ısı miktarı 2 kW ve 2.5 kW arasındadır. Isı deposundan çekilen ekserji miktarı ise 550 W ile 900 W arasında değişmektedir. Ortalama günlük ısı ve ekserji miktarları sırasıyla 2.25 kW ve 725 W olarak bulunmuştur.



Şekil 13. Isı deposundan çekilen ısı ve ekserji miktarlarının zamanla değişimi



Şekil 14. Güvenlik kabinin toplam ısıtma ihtiyacı ve ısı deposundan aktarılan ısı miktarının zamanla değişimi

Güvenlik kabinin toplam ısıtma ihtiyacı ve ısı deposundan aktarılan ısı miktarının zamanla değişimi Şekil 14'de verilmektedir. Kabinin ısıtma ihtiyacı 0.85 ile 2.97 kW arasında değişmekte iken, ısı deposundan çekilen ısı miktarı 81 W ile 1.02 kW arasındadır. Kabinin ortalama günlük ısıtma ihtiyacı 1.96 kW ve ısı deposundan çekilen ısı miktarı 577 W olmaktadır. Kabinin toplam ısıtma ihtiyacının ısı deposundan karşılama oranı yaklaşık %60 olduğu tespit edilmiştir.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1319242

SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye'deki bir ısı depolamalı bir ısıtma sisteminin ısı performansını incelenmiştir. Isı deposunda depolanan ısı ve ekserji miktarlarının günlük ortalama değerleri sırasıyla 2.15 kW ve 386 W olarak bulunmuştur. Sistemin enerji verimi %73 ile %88 arasında değişmektedir. Sistemin ekserji verimi ise %42 ile %61 arasındadır. Sonuçlar, enerji ve ekserji miktarları arasındaki farkın önemli olduğunu göstermişlerdir.

Ekserji analizi, termal enerji depolama sistemlerinin uygun maliyetli tasarımı ve işletimi için gereklidir. Bu nedenle, mümkün olan en yüksek termodinamik verimliliğe sahip termal enerji depolama sistemlerini tasarlamak için ekserji analizi kullanılmalıdır. Isı deposundan çekilen ısı miktarı 577 W iken, kabinin ortalama günlük ısı ihtiyacı 1.96 kW olmaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

Semboller

A_k	: Kolektör yüzey alanı (m^2)
I_e	: Eğik yüzeyin birim alanına gelen güneş ışınımı (kJ/m^2)
V	: Hava akış hızı (m/s)
c_p	: Özgül ısı ($kJ/kg \text{ } ^\circ C$)
m	: Akışkanın debisi (m^3/s)
T_i	: Akışkan giriş sıcaklığı ($^\circ C$)
$T_{iç}$: İç sıcaklık ($^\circ C$)
$T_{dış}$: Dış ortam sıcaklığı ($^\circ C$)
T_{dg}	: Isı deposu giriş sıcaklığı ($^\circ C$)
$T_{dç}$: Isı deposu çıkış sıcaklığı ($^\circ C$)
T_{kog}	: Kolektör giriş sıcaklığı ($^\circ C$)
$T_{koç}$: Kolektör çıkış sıcaklığı ($^\circ C$)
T_{kg}	: Kabin giriş sıcaklığı ($^\circ C$)
$T_{kç}$: Kabin çıkış sıcaklığı ($^\circ C$)
T_m	: Isı deposu malzemesinin sıcaklığı
sıcaklığı ($^\circ C$)	
T_o	: Akışkan çıkış sıcaklığı ($^\circ C$)
T_{os}	: Dış referans sıcaklığı ($^\circ C$)
T_s	: Kabin içi ortalama sıcaklık ($^\circ C$)
ρ	: Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3)
η_k	: Kolektör verimi (%)

KAYNAKLAR

- Ashouri, M., Ahmadi, M.H., Mohsen Pourkiaei, S., Astarai, F.R., Ghasempour, R., Ming, T. ve Hemati, J.H. (2018). Exergy and exergo-economic analysis and optimization of a solar double pressure organic Rankine cycle. *Thermal Science and Engineering Progress*, 6, 72–86.
- Badescu, V. (2002). First and second law analysis of a solar assisted heat pump based heating system. *Energy Conversion and Management*, 43, 2539–52.
- Dikici, A., ve Akbulut, A. (2008). Performance characteristics and energy–exergy analysis of solar-assisted heat pump system. *Building and Environment*, 43, 1961–1972.
- Dincer, I., ve Rosen, M.A. (2001). *Thermal energy storage, system and applications*. Willey.
- Gholami, A., Hajinezhad, A., Pourfayaz, F. ve Ahmadi M.H. (2018). The effect of hydrodynamic and ultrasonic cavitation on biodiesel production: An exergy analysis approach. *Energy*, 160, 478–89.
- Hazami, M., Kooli, S., Lazâar, M., Farhat, A., ve Belghi, A. (2009). Energy and exergy efficiency of a daily heat storage unit for buildings heating. *Revue des Energies Renouvelables*, 12, 185–200.
- Mirzaei, M., Ahmadi, M.H., Mobin, M., Nazari, M.A. ve Alayi, R. (2018). Energy, exergy and economics analysis of an ORC working with several fluids and utilizes smelting furnace gases as heat source. *Thermal Science and Engineering Progress*, 5, 230–37.
- Naseri, A., Bidi, MAhmadi., M.H. ve Saidur, R. (2017). Exergy analysis of a hydrogen and water production process by a solar-driven transcritical CO2 power cycle with Stirling engine. *Journal of Cleaner Production*, 158, 165–81.
- Ozgener, O., ve Hepbasli, A. (2005). Experimental performance of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system. *Energy and Buildings*, 37, 101–10.
- Ozturk, H.H. (2005). Experimental evaluation of energy and exergy efficiency of aseasonal latent heat storage system for greenhouse heating. *Energy Conversion and Management* 46, 1523–1542.
- Öztürk, H.H., ve Başçetinçelik, A. (2003). Energy and Exergy Efficiency of a Packed-bed Heat Storage Unit for Greenhouse Heating *Biosystems Engineering*, 86, 231–245.


Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1319242

- Pahud, D. (2000). Central solar heating plants with seasonal duct storage and short-term water storage: design guidelines obtained by dynamic system simulations. *Solar Energy* 69, 495–509.
- Ucar, A., ve Inalli, M. (2005). Thermal and economical analysis of a central solar heating system with underground seasonal storage in Turkey. *Renewable Energy*, 30, 1005–1019.
- Ucar, A., ve Oral, A. (2021). Thermal and economical analysis of a central solar heating system with underground seasonal storage in Turkey. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, And Environmental Effects*, 43, 916–931.
- Wang, H., ve Zhao, J. (2005). Center solar heating technology with seasonal thermal storage. *Solar Energy*, 108, 27–31.
- Yumrutas, R. ve Unsal, 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, 983–993.
- Zhang, HF., Ge, XS., ve Ye, H. (2007). Modeling of space heating and cooling system with seasonal energy storage. *Energy* 32, 51– 58.

Effects of Macerated and Cold Pressed Sesame (*Sesamum indicum* L.) Oil on Antioxidant Enzyme Activities, Hematological Parameters, Nitro Blue Tetrazolium (Nbt) Activity and Proximate Composition of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792) at High Stocking Density

Başar Altınterim

Malatya Turgut Ozal University, Faculty of Agriculture, Department of Aquaculture, Malatya, Türkiye

basar.altinterim@ozal.edu.tr 

Received date:22.09.2023, Accepted date: 11.12.2023

Abstract

The study was aimed to determine the effects of macerated sesame oil (MSO) and cold pressed sesame (*Sesamum indicum* L.) oil (CPSO) on antioxidant enzyme activities, hematological parameters, nitro blue tetrazolium (NBT) activity and proximate composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792) at high stocking density. Fish (55.89±2.05 g) were fed diets supplemented with same concentration (%2) of MSO and CPSO for 21 days. It was determined that the values of mean corpuscular hemoglobin (MCH), platelet (PLT) values of the CPSO and group and the corpuscular hemoglobin concentration (MCHC), platelet (PLT), mean platelet volume (MPV), platelet-large cell ratio (PLCR), granulocyte (GRAN), nitro blue tetrazolium (NBT) levels of the MSO group were increased. It was found that glutathione peroxidase (GPx) and catalase (CAT) activities of CPSO groups were risen. The results were statistically significant at P<0.05 level. In the study, the dry matter ratio increased in each experimental group compared to the control group, the moisture, ash and protein ratio did not change, the fat ratio decreased compared to the control group. Both macerated sesame oil and cold pressed sesame oil could be recommended to alternative food additives.

Keywords: Blood parameters, fish feeding, immune biomarkers, oxidative stress.

Masere ve Soğuk Pres Susam (*Sesamum indicum* L.) Yağının, Yüksek Yoğunlukta Stoklanmış Gökkuşluğu Alabalıkları (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792)'nın Antioksidan Enzim Aktiviteleri, Hematolojik Parametreleri, Nitro Blue Tetrazolium (NBT) Aktivitesi ve Et Verimi Üzerine Etkileri

Öz

Bu çalışmanın amacı, masere susam yağı (MSO) ve soğuk pres susam (*Sesamum indicum* L.) yağının (CPSO) yüksek yoğunlukta stoklanmış gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792)'nın antioksidan enzim aktiviteleri, hematolojik parametreler, nitro mavi tetrazolium (NBT) aktivitesi ve yaklaşık kompozisyonu üzerine etkilerinin belirlenmesidir. Balıklar (55.89±2.05 g) 21 gün boyunca aynı konsantrasyonda (%2) MSO ve CPSO içeren yemlerle beslendi. CPSO ve gruba ait ortalama korpüsküler hemoglobin (MCH), trombosit (PLT) değerleri ile korpüsküler hemoglobin konsantrasyonu (MCHC), trombosit (PLT), ortalama trombosit hacmi (MPV), trombosit-büyük hücre oranı değerlerinin olduğu belirlendi. MSO grubunda (PLCR), granülosit (GRAN), nitro blue tetrazolium (NBT) seviyelerinin arttığı, CPSO gruplarının glutatyon peroksidaz (GPx) ve katalaz (CAT) aktivitelerinin arttığı belirlendi. Sonuçlar P<0.05 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulundu. Araştırmada her deney grubunda kontrol grubuna göre kuru madde oranı artmış, nem, kül ve protein oranı değişmemiş, yağ oranı ise kontrol grubuna göre azaldığı tespit edildi. Alternatif gıda katkı maddeleri olarak hem masere susam yağı hem de soğuk sıkım susam yağı tavsiye edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Balık besleme, immün biyobelirteçler, kan parametreleri, oksidatif stres.

INTRODUCTION

Fish obtained from sea, fresh waters and aquaculture facilities have an important and nutritious place in our diet. Many aquatic products are an excellent source of vitamins and minerals for human nutrition. Among the protein sources, seafood with a high degree of digestibility is quite low in terms of fat when compared to other high protein foods. In addition, seafood is the only source of ω -3 series polyunsaturated fatty acids with proven health benefits (Turan et al., 2006). The nutritional content of cultured fish meat depends on several factors such as species, season, diet, habitat and age (Drazen 2007; Tuna Kelestemur and Ozdemir, 2013). Food scientist is interested in making fish foods high protein foods while providing the best quality taste, color, smell, texture and safety that can be obtained with maximum nutritional value (Mohamed et al., 2010). For these reasons, knowledge on the chemical composition of freshwater fish in general is valuable to nutritionists interested in food sources that are readily available, such as most low-fat and high-protein freshwater fish (Mozaffarian et al., 2003; Foran et al., 2005).

Feed additives are indispensable components of fish diets. In the fish diet, feed additives play an important role for the aquaculture and immunity of animals. Feed additives are substances that are added to the fish diet in small amounts and act as preservatives. Some authors found that the feed additive is antimicrobial, anti-oxidant, growth-promoting, and immune-enhancing (Tuna Kelestemur, 2011; Yadav et al., 2021).

Plants and herbal products are used as feed additives in fish farming. These additives are added to improve blood and antioxidant values. These substances are made by adding oil, hydrosol (Altınterim et al., 2012; Küçükgül et al., 2013; Altınterim et al., 2018a; Tuna Kelestemur et al., 2021), herbal extracts (Kılıç et al., 2007) or plant ingredients obtained in powder form to the feed. Cold pressing and heat treatment applications are generally used to obtain herbal oils. Maceration is another technique which has been used in many fields including alternative medicine in Southeast Asia since ancient times (Hsu et al., 2013; Kantawong et al., 2017), although it has not been used much in aquaculture studies. In recent studies, it has been observed that there are positive improvements in the health of fish fed by macerated oil added into feed. (Altınterim et al., 2018b; Altınterim et al., 2018c).

Sesame (*Sesamum indicum*, L.) has been cultivated in various ecological regions of Turkey. Sesame seed oil has anti-inflammatory, anti-bacterial, hypolipidemic and antitumor effects (Anilakumar et al., 2010; Özdemir et al., 2018). It includes mono and polyunsaturated fatty acids, proteins, minerals, many compounds such as phytosterols, tocopherols, mainly oleic and linoleic, sesamol, sesaminol, sesamolinal, pinoresinol, matairesinol, lariciresinol and episesamine (Yamashita et al., 1995). Sesame seed oil is highly strong to oxidation (Budowski 1964) and its biochemical mixture also makes this oil one of the most resistant seed oils against oxidation. Sesamol, an antioxidant, was detected only in cold pressed sesame oil (CPSO). Sesamin and sesaminol have anti-mutagenic, anti-oxidant and anti-inflammatory effects and free radical scavengers (Shakoori et al., 1990; Osawa et al., 1995). These antioxidants were determined to have inhibitory effects on lipid peroxidation (Kang et al., 1998). Sesame oil inhibits the formation of reactive oxygen and free radicals. Natural antioxidants in sesame oil are aforesought useful for the prevention of oxidative damage (Das 2000). Non-enzymatic antioxidants in sesame oil could act to overcome the oxidative stress (Maree et al., 2009). Sesame oil was experimented on the various hematologic and oxidative stress parameters in animals and humans (Sankar et al., 2006; Namiki, 2007; Saleem et al., 2012). The role of the antioxidant defense system, which includes glutathione peroxidase (GPx), glutathione reductase (GR), catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD) and malondialdehyd (MDA) in protection against oxidative insults is well characterized (Huang et al., 1994).

In this study, it was aimed to investigate the effect of adding sesame oils obtained by maceration and cold pressing methods to rainbow trout feed on some blood parameters, nitro blue tetrazolium (NBT) and antioxidant values and proximate composition.

MATERIAL AND METHODS

Fish material and experimental design

This study was carried out in the Fisheries Department of Malatya Turgut Özal University. Average weight of trouts was 55.89 ± 2.05 g. prior to the starting of experiments, fish were subjected to acclimation for two weeks. Sesame seeds were waited in sunflower oil (1/10) for 15 days to obtain

macerated sesame oil (MSO). CPSO was purchased from a local store (Kırkambar Co., Elazığ, Turkey) and these pressed oils were added to trout feed at %2 rate. In intensive stocking trial groups, 50 fish were stocked in 250 L tanks. 300 rainbow trout were divided into 3 groups (CPSO, MSO and control groups) and each group consisted of two tanks (two replicates). Fish were fed 2% of the weight of fish twice a day (morning and night) for 21 days.

Blood sampling of fish and analysis

The fish were anesthetized with an anaesthetic matter [Benzocaine (ethyl 4-aminobenzoate 99%, Sigma Aldrich Co, USA) 30 mg/L] before blood samples collection (Altınterim and Aksu 2020). Blood samples were taken from tail veins of the anesthetized fish and transferred to ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) tubes. The NBT activity (total oxidative radical production of neutrophils) was determined by spectrophotometric method from blood samples with EDTA. Hematologic analyze was also performed with Fully Auto Hematology Analyzer PROCAN PE-6800VET (Shenzhen Prokan Electronics, Guangdong, China). The blood samples were waited one day at 4 °C and then centrifuged at 1000 g for 15 min to obtain plasma. Antioxidant enzymes activities including CAT, GPx, GR and MDA levels were measured with detection kits (Shanghai YL Biotech Co., Ltd., China) by using DR-200Bc Microplate Reader (Shenzhen Prokan Electronics, China).

Proximate composition

The proximate composition of fish samples in terms of moisture, fat, total proteins and ash were carried out according to AOAC (1990). Moisture was measured by using a gravimetric method by drying the sample at 105 °C until it reached constant weight. Crude protein content was calculated by Micro Kjeldahl method (6.2 x N). The amount of total lipid was obtained by extracting (Soxhlet system) with light petroleum ether, and the solvent was removed by distillation. The ash was determined from the residue after burning in a muffle furnace at 550 °C for about 20 hours.

Statistical analysis

In this study, ANOVA multivariate Duncan test was applied using SPSS Statistics 25.0 package program. The Kruskal Wallis test was used for the values of normal spreads and non-homogeneous variances. The results were expressed with the letters “a, b, c” (Çimen 2015).

RESULTS AND DISCUSSION

The values proximate compositions of control and experimental groups were not statistically found different in the durations ($P>0.05$) (Table 1). The MCH, PLT values of the CPSO group and the MCHC, PLT, MPV, PLCR, GRAN, NBT levels of the MSO group were statistically found different in the durations ($P<0.05$) (Table 2). In the present study, it was found that GPx and CAT activities of CPSO group were statistically found different in the durations ($P<0.05$) (Table 3). Proximate compositions in current study are in agreement with Özpolat (2020). There are many studies involving the addition of various forms of sesame plants to rainbow trout feed. However, studies using MSO could not be found. A study was conducted on the evaluation of sesame (*Sesamum indicum*, L.) seed instead of soybean in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792) feed (Dernekbaşı et al., 2017). According to this study, moisture and ash were reported as 76.07% and 1.49%, respectively which is consistent with the data obtained in our study. On the other hand, Dernekbaşı et al. (2017) stated that fat and crude protein were 3.39% and 10.52%, respectively. The reason for the inconsistency of fat and protein values with the present study (Table 1) may be due to different brands of feed and the different content of these feeds. The difference in the size of the fish used in the studies may also have an effect on this. Sesame cake and meal were used in other studies, while MSO was added into fish feed in this study and it was proposed to investigate the effect of this oil mostly on blood and antioxidant parameters. Another study (Nang et al., 2011) was conducted on rainbow trout fry with a body weight of 1.42 g. In the experiment, the effect of adding sesame oil cake (SOC) to the feeding ration of the juveniles at different rates was investigated. When SOC protein was added to 0%, 13% and 26% feed gradually, it was observed that it had a significant contribution on the enlargement and development of rainbow trout fry. This oil supplement also increased feed requests and increased SOC nitrogen holding capacity. The data obtained showed that there is no need for extra amino acid supplementation in rainbow trout fry, which are carnivorous.

In another study, sesame oil was added to diets instead of fish oil (Olude et al., 2019). Native male tilapia fish were fed with these diets and their effects on growth, food utilization and muscle fatty acid

composition of these fish were considered. At the end of the experiment, positive results were obtained and it was stated that sesame seed oil should be used instead of fish oil in feeds. This study shows that the use of sesame oil as a feed additive has beneficial effects on fish with different diets.

In another study, it was determined that a decrease in the RBC, HGB and HCT levels, but an increase in the WBC, lymphocyte (LYM) and monocyte (MID) counts for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) (Saleh, 2020). Iqbal et al. (2022) showed that sesame oil had beneficial influence on hemoglobin level in rabbit. Moradi et al. (2013) reported that experimental diets (sesame oil cake and corn gluten) caused a reduce significant difference in hematocrit and hemoglobin levels of treatments respect with control group, no significant differences were found in WBCs, RBCs of groups in carp (*Cyprinus carpio*). Contrary to our study, these experiments show that sesame oil contains substances that stimulate blood production, but its sesame cake and meal do not.

Although macerated oils are used in many production areas, but they are not widely used as fish feed additives. Apart from MSO, there are studies on other macerated plants. In these studies, blood parameters and NBT were examined as in our study.

Altınterim and Aksu (2020) studied the addition of macerated oils of Tunceli garlic (*Allium tuncelianum*, Koll.) and garlic (*Allium sativum* L.) to the feeds of high stocked rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, W.). It was observed that the values of MCH, platelet large cell ratio (P-LCR), plateletcrit (PCT), platelet count (PLT) and mean platelet volume (MPV) were significantly better in the groups given macerated garlic than control group. No significant difference was found in WBC, MID, LYM, HCT, RBC, red cell distribution width-standard deviation (RDW-SD), HGB, MCV, MCHC, platelet distribution width (PDW) and red cell distribution width-coefficient of variation (RDW-CV) parameters between groups. It was observed that the NBT levels of trout fed with macerated garlic oil were significantly reduced. This shows that the active ingredients of garlic reduce oxidative stress in cells (Altınterim and Aksu 2020). The effect of macerated fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) oil mixed to trout feed at different rates was investigate on blood parameters and NBT values of rainbow trout. All blood parameters except MCHC increased

numerically in the experimental groups. Although this increase was a little bit, a statistically significant difference was observed only in MID values. At the end of the study, there were an increase in NBT values compared to pre-experimental values, which are thought to increase NBT activity due to water-soluble phenolic compounds in fenugreek and are not important (Altınterim 2019a). In another study, the effects of macerated and cold pressed wheat germ (*Triticum vulgare*, L.) oils added to feeds at different rates on NBT and hematological values of rainbow trout were investigated. Another study showed that a significant difference was found in PLT, RBC, HCT, HGB and WBC values. It was observed that there was no difference between NBT levels (Altınterim and Aksu, 2019b). In the study with rainbow trout stocked at high density, the effect of macerated tomato (*Lycopersicon esculentum*, L.) and carrot (*Daucus carota*, L.) oils was investigate on the hematological parameters of the fish. Significant difference was found in MCH, RBC, HGB, HCT, LYM and NBT values. High levels of both macerated carrot and macerated tomato oils have been found to stimulate the non-specific immune system. In particular, it has been determined that macerated carrot oil is more effective than macerated tomato oil (Altınterim and Aksu, 2019c). This affects the blood parameters of biological differences in the life stages of other living things. This effect was also seen in rainbow trout fish (Altınterim et al., 2018d).

The data obtained in other studies and this study show that macerated oils obtained from plants have significant effects on the blood values of trout. In addition, some studies show different values in the NBT results, while NBT levels are found similar in some studies, they may be different in others. The reason for the differences in blood values may be due to the different effects of the substances in the contents of different plants. The reason why MSO in NBT values give different results than oils obtained by control and other methods is due to the fact that different substances in the plant's content pass into the oil during the maceration stage. Also in some studies mentioned above, it has been determined that the effects of MSO are more than CPSO.

In the present study, the increase in GPx and CAT levels of CPSO group showed that these oils increased the antioxidant capacity of the trout. The antioxidant values in our experiment coincided with the values in similar studies (Richardson et al., 1975;

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1364675

Epp et al., 1983). Shenoy et. al. (2011) reported that sesamol preventing the oxidative degradation. These findings indicated that sesame ingredients exhibit antioxidant and anti-inflammatory activities (Köse and Yıldız, 2013). Mitsiopolou et al. (2021) found that the SOD and CAT activities were increased, but MDA content declined in blood plasma

of goats. Cao et al. (2020) determined that sesamol treatment attenuated the production of reactive oxygen species (ROS) and oxidative stress and the increase of CAT and SOD activities in zebra fish exposed to fluoride.

Table 1. Proximate compositions of control and experimental groups

Groups	Dry matter (%)	Moisture (%)	Ash (%)	Fat (%)	Protein (%)
Control	21.97±0.02 ^a	77.51±0.60 ^a	1.26±0.34 ^a	5.14±1.54 ^a	16.44±0.22 ^a
CPSO	22.72±0.46 ^b	77.02±0.54 ^a	1.20±0.83 ^a	4.57±0.86 ^b	16.18±0.84 ^a
MSO	22.31±0.03 ^b	77.18±0.74 ^a	1.23±0.62 ^a	4.64±1.32 ^b	16.06±0.49 ^a

*CPSO: Cold pressed sesame oil, MSO: macerated sesame oil).

Table 2. Hematological parameters and NBT value

Groups	Control	CPSO	MSO
WBC (10 ³ /μL)	57.48±3.40 ^a	51.83±2.22 ^a	53.80±1.43 ^a
RBC (10 ⁶ /μL)	1.74±0.14 ^a	1.95±0.15 ^a	1.90±0.04 ^a
HGB (g/dl)	9.11±0.69 ^a	9.73±0.73 ^a	9.90±0.27 ^a
HCT (%)	22.90±1.65 ^a	22.80±1.74 ^a	21.83±0.68 ^a
MCV (fL)	133.36±2.65 ^a	117.46±2.48 ^a	114.93±0.93 ^a
MCH (pg)	52.38±0.81 ^a	49.03±0.80 ^b	51.90±0.36 ^a
MCHC (g/dl)	39.71±0.77 ^a	42.98±0.42 ^{ab}	45.30±0.36 ^b
PLT (10 ³ /μL)	11.83±0.60 ^a	17.16±1.10 ^b	34.33±0.42 ^c
MPV (fL)	13.10±0.32 ^a	13.10±0.27 ^a	11.60±0.29 ^b
PDW (%)	14.51±2.70 ^a	13.11±2.14 ^a	9.30±0.12 ^a
PLCR (%)	41.66±1.53 ^a	43.70±2.22 ^a	32.23±1.79 ^b
LYM (%)	91.80±0.45 ^a	92.75±0.35 ^a	93.03±0.08 ^a
MID (%)	5.16±0.21 ^a	4.73±0.19 ^a	4.63±0.06 ^a
GRAN (%)	3.13±0.30 ^a	2.68±0.09 ^a	2.23±0.04 ^b
NBT	0.78±0.03 ^a	0.77±0.04 ^a	1.00±0.04 ^b

*CPSO: Cold pressed macerated oil, MSO: Macerated sesame oil, WBC: White blood cell, LYM: Lymphocyte, RBC: Red blood cell, HGB: hemoglobin, HCT: hematocrit, MCV: Mean corpuscular volume, MCH: Mean corpuscular hemoglobin, MCHC: Mean corpuscular hemoglobin concentration, PLT: Platelet, MPV: Mean platelet volume, PDW: Platelet distribution width, PLCR: Platelet-large cell ratio, LYM: lymphocyte, MID: Monocyte, GRAN: Granulocyte, NBT: Nitro blue tetrazolium.

Table 3. The values of GPx, CAT, GR, SOD and MDA levels of experimental groups

Antioxidant Parameters and MDA levels	Control	CPSO	MSO
GPx (units/mg protein)	11.41±0.45 ^a	15.60±1.80 ^b	13.03±0.56 ^{ab}
CAT (units/mg protein)	12.24±0.58 ^a	15.46±0.65 ^b	13.78±0.48 ^{ab}
GR (units/mg protein)	15.83±1.17 ^a	17.34±0.96 ^a	15.72±0.88 ^a
SOD (units/mg protein)	11.28±0.22 ^a	12.16±0.67 ^a	11.18±0.38 ^a
MDA (nmol/mg protein)	12.95±1.01 ^a	17.42±1.22 ^a	14.07±0.98 ^a

*CPSO: Cold pressed macerated oil, MSO: Macerated sesame oil, GPx: Glutathione peroxidase, CAT: Catalase, GR: Glutathione reductase, SOD: Superoxide dismutase, MDA: Malondialdehyde.

CONCLUSION

It can be concluded that CPSO could be used to improve the oxidative stress caused by high stocking density. Using CPSO on high stocking density reduced its negative effects on most of the antioxidant parameters and this may be referred to the therapeutic role of sesame oil as antioxidant. The sesamol and sesamin in sesame oil have been the high oxidative stability. CPSO is a good source of anti-oxidants, omega-3 and omega-6 fatty acids. CPSO prepared by soaking in oil showed a stronger effect than MSO. This effect is thought to occur due to the fact that sesame contains more oil-soluble components. In our study proved the beneficial effect of CPSO that significantly recovered the reverse free radical generative influence of stress than control and MSO. Especially, it was determined that MSO decreased lipid peroxidation level. Interestingly, significant increase was found in the MDA levels for treatment with CPSO compared to the control. It is thought that this difference was due to the more intense transition of substances such as sesamol and sesamin to CPSO. MSO was significantly increased blood profile: MCHC, PLT, MPV, PLCR, GRAN and immunity NBT level of rainbow trouts. On the other hand, CPSO and MSO treatments did not cause any different effect on the nutritional values of the fish. Macerated oils were found to be more effective than press oils on hematological values and NBT activity. This effect was thought to occur due to the transition of oil-soluble substances of plants and the blood production mechanism of fish were stimulated by these substances.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was financially supported by Inonu University Scientific Research Projects Coordination Office with project number FBA- 2018-1026.

CONFLICT OF INTEREST

The Author reports no conflict of interest relevant to this article.

RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The author declares that this study complies with research and publication ethics.

REFERENCES

- Altınterim, B., Guleç, A.K. and Aksu, Ö. (2012). Determination of safety dose of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) hydrosol on mirror carp (*Cyprinus carpio*). Fresenius Environmental Bulletin, 21, 1219-1222.
- Altınterim, B., Danabaş, D. and Aksu, Ö. (2018a). The effects of common yarrow (*Achillea millefolium*), cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) and rosemary (*Rosemarinus officinalis*) hydrosols on the some immunological and hematological parameters of common carp (*Cyprinus carpio*). Cellular and Molecular Biology, 64, 19-24.
- Altınterim, B., Öztürk, E., Kutluyer, F. and Aksu, Ö. (2018b). Effects of green tea (*Camellia sinensis*) oil on feed utilization and hematological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Atatürk University Journal of Veterinary Sciences, 13, 159-164.
- Altınterim, B., Kutluyer, F. and Aksu, Ö. (2018c). Effects of different plant oils having different oxygen radical absorbance capacity (ORAC) on hematological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) at high stocking density. Atatürk University Journal of Veterinary Sciences, 13, 63-69.
- Altınterim, B., Şen, M. and Aksu, Ö. (2018d). Investigation of changes in the weight and blood parameters of trout (*Oncorhynchus mykiss*) during mating period. International Journal of Veterinary Science, 1, 13-15.
- Altınterim, B. (2019a). Influence of macerated fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) oil added to trout feed at the different rates on the feed conversion rate (FCR), body length, blood parameters and nitroblue tetrazolium (NBT) values of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Cellular and Molecular Biology, 65, 89-93.
- Altınterim, B. and Aksu, Ö. (2019b). Influence of macerated and cold press wheat germ (*Triticum vulgare*) oils added at different rates to trout feed on the feed rate (FCR), haematology parameters and NBT (nitroblue tetrazolium) values of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). International Journal of Pure and Applied Sciences, 5, 72-77.
- Altınterim, B. and Aksu, Ö. (2019c). Effect of macerated tomato (*Lycopersicon esculentum*)

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1364675

- and carrot (*Daucus carota*) oils on hematological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) at high stocking density. International Journal of Pure and Applied Sciences, 5, 85-90.
- Altınterim, B. and Aksu, Ö. (2020). Effects of oils of macerated garlic (*Allium sativum*) and macerated Tunceli garlic (*Allium tuncelianum*) on some hematological parameters and NBT (Nitro blue tetrazolium) levels of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) at high stocking density. Journal of Balikesir University Institute of Science and Technology, 21, 716-723.
- Anilakumar, K.R., Pal, A., Khanum, F. and Bawa, A.S: (2010). Nutritional, medicinal and industrial uses of sesame (*Sesamum indicum*) seeds-an overview. Agriculturae Conspectus Scientificus, 75, 159-168.
- AOAC (Association Official Agricultural Chemists). (1990). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists (15th ed.). Ed. William Horwitz Tenth Edition Washington DC. U.S.A.
- Budowski, P. (1964). Recent research on sesame, sesamol and related compounds. Journal of the American Oil Chemists' Society, 41, 280-285.
- Cao, J., Feng, C., Xie, L., Li, L., Chen, J., Yun, S., Guo, W., Wang, T., Wu, Y., Meng, R., Wang, G., He, X. and Luo, Y. (2020). Sesamin attenuates histological alterations, oxidative stress and expressions of immune-related genes in liver of zebrafish (*Danio rerio*) exposed to fluoride. Fish and Shellfish Immunology, 106, 715-723.
- Çimen, M. (2015) Fen ve sağlık bilimleri alanında SPSS uygulamalı veri analizi, 314.
- Das, U.N. (2000). Interaction(s) between nutrients, essential fatty acids, eicosanoids, free radicals, nitric-oxide, antioxidants and endothelium and their relationship to human essential hypertension. Medical Science Research, 28, 75-83.
- Dernekbaşı, S., Karayücel, I. and Akyüz, A.P. (2017). Evaluation of sesame (*Sesamum indicum*) seed meal as a replacer for soybean meal in the diets of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 34, 31-39.
- Drazen, J.C. (2007). Depth related trends in proximate composition of demersal fishes in the eastern North Pacific. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 54, 203-19.
- Epp, O., Ladenstein, R. and Wendel, A. (1983). The refined structure of the seleno enzyme glutathione peroxidase at 0.2-nm resolution. European Journal of Biochemistry, 133, 51-69.
- Foran, J.A., Carpenter, D.O., Hamilton, M.C., Knuth, B.A. and Schwager, S.J. (2005). Risk-based consumption advice for farmed Atlantic and wild Pacific salmon contaminated with dioxins and dioxin-like compounds. Environmental Health Perspectives, 33, 552-556.
- Hsu, D.Z., Chen, S.J., Chu, P.Y. and Liu, M.Y. (2013). Therapeutic effects of sesame oil on monosodium urate crystal-induced acute inflammatory response in rats. SpringerPlus, 2, 659.
- Huang, C.Y., Chen, L.H., Osio, Y. and Cohen, D.A. (1994). Effects of diet composition on liver antioxidant defense and detoxification enzymes in mice with murine AIDS. Nutrition Research, 14, 1841-1851.
- Iqbal, M., Iqbal, R., Hussain, M., Malik, M.F., Razaq, A. and Hussain, M. (2022). Comparative effects of sesame oil and clove oil on growth performance, blood profile and immunity of rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). Pure and Applied Biology, 11, 488-500.
- Kang, M.H., Katsuzaki, H. and Osawa, T. (1998). Inhibition of 2, 20-azobis (2, 4-dimethylvaleronitrile)-induced lipid peroxidation by sesaminols. Lipids, 33, 1031-1036.
- Kantawong, F., Singhatong, S., Srilamay, A., Boonyuen, K., Mooti, N., Wanachantararak, P. and Kuboki, T. (2017). Properties of macerated herbal oil. Bioimpacts, 7, 13-23.
- Kılıç, U., Boğa, M. and Görgülü, M. (2007). Ruminant beslemede kullanılan yem katkı maddeleri. Yem Magazin, 48, 25-32.
- Köse, I. and Yıldız, M. (2013). Effect of diets containing sesame oil on growth and fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Journal of Applied Ichthyology, 29, 1318-1324.
- Küçükgül, A.G., Altınterim, B. and Aksu, Ö. (2013). Determination of lethal concentration (LC50) values of *Cinnamomum zeylanicum* hydrosol on carp fish. Iranian Journal of Fisheries Science, 12, 34-44.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1364675

- Maree, N., Balouni, A.I., Moselhy, S.S. and Kumosani, T. (2009). Dietary fish and sesame oil effects on serum lipid profile of rats fed on coconut oil based high fat diet. *Turkish Journal of Biology*, 34, 220-225.
- Mitsiopolou, C., Sotirakoglou, K., Labrou, N.E. and Tsiplakou, E. (2021). The effect of whole sesame seeds on milk chemical composition, fatty acid profile and antioxidant status in goats. *Livestock Science*, 245, 104452.
- Mohamed, H.A.E., Al-Maqbaly, R. and Mansour, H.M. (2010). Proximate composition, amino acid and mineral contents of five commercial Nile fishes in Sudan. *African Journal of Food Science*, 4, 650-654.
- Moradi, N., Imanpoor, M. and Taghizadeh, V. (2013). Hematological and biochemical changes induced by replacing fish meal with plant protein in the *Cyprinus carpio* Linnaeus (1785). *Global Veterinaria*, 11, 233-237.
- Mozaffarian, M.D., Rozenn, N.L., Lewis, H.K., Gregory, L.B., Russell, P.T. and Davis, S.S. (2003). Cardiac benefits of fish consumption may depend on type of fish meal consumed. *Circulation*, 107, 1372-1382.
- Namiki, M. (2007). Nutraceutical functions of sesame: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47, 651-73.
- Nang Thu, T.T., Bodin, N., De Saeger, S., Larondelle, Y. and Rollin, X. (2011). Substitution of fish meal by sesame oil cake (*Sesamum indicum*) in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, 17, 80-89.
- Olude, O.O., Alegbeleye, W.O. and George, F.O.A. (2019). Effects of replacement of fish oil by sesame seed (*Sesamum indicum*) oil in the diets of til-aqua natural male tilapia. *Ife Journal of Science and Technology*, 21, 287-298.
- Osawa, T., Yoshida, A., Kawakishi, S., Yamashita, K. and Ochi, H. (1995). Protective role of dietary antioxidants in oxidative stress. In *Oxidative stress and aging*; Cutler, R.G., Packer, L., Eds. *Molecular and Cellular Biology*, 367-377.
- Özdemir, İ.S., Karaoğlu, Ö., Dağ, Ç. and Bekiroğlu, S. (2018). Assessment of sesame oil fatty acid and sterol composition with FT-NIR spectroscopy and chemometrics. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 42, 444-452.
- Özpolat, E. (2020). Microbiological quality and nutritive value of 4°C stored spiny eel (*Mastacembelus mastacembelus*) gravid. *Journal of Balikesir University Institute of Science and Technology*, 22, 741-747.
- Richardson, J.S., Thomas, K.A., Rubin, B.H. and Richardson, D.C. (1975). Crystal structure of bovine Cu, Zn superoxide dismutase at 3Å resolution: Chain Tracing and Metal Ligands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 72: 1349-1353.
- Saleem, T.S.M., Chetty, C.M. and Kavimani, S. (2012). Sesame oil enhances endogenous antioxidants in ischemic myocardium of rat. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 22, 669-675.
- Saleh, N.E. (2020). Assessment of sesame meal as a soybean meal replacement in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) diets based on aspects of growth, amino acid profiles, haematology, intestinal and hepatic integrity and macro element contents. *Fish Physiology and Biochemistry*, 46, 861-879.
- Sankar, D., Rao, M.R., Sambandam, G. and Pugalendi, K.V. (2006). Effect of sesame oil on diuretics or β -blockers in the modulation of blood pressure, anthropometry, lipid profile, and redox status. *Yale Journal of Biology and Medicine*, 79, 19-26.
- Shakoori, A.R., Aziz, F., Alam, J. and Ali, S.S. (1990). Toxic effects of talastar, a new synthetic pyrethroid, on blood and liver of rabbit. *Pakistan Journal of Zoology*, 23, 289-300.
- Shenoy, R.R., Sudheendra, A.T., Nayak, P.G., Paul, P., Kutty, N.G. and Rao, C.M. (2011). Normal and delayed wound healing is improved by sesamol, an active constituent of *Sesamum indicum* (L.) in albino rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 133, 608-612.
- Tuna Keleştemur, G. (2011). Effects of β -Carotene and Vitamin C on Blood Electrolyte Levels of Juvenile Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* W. 1792) Under Hypoxic Stress. *Indian Journal of Animal Research*, 46 (1), 22 – 27.
- Tuna Keleştemur, G., Özdemir, Y. (2013). Effects of Dietary Vitamin A and E on Growth Performance and Antioxidant Status in Blood of Juvenile Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* W 1792) Exposed to Flow Rate Stress. *The*

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1364675

journal of Animal and Plant Sciences, 23(3),
821-827.

- Tuna Keleştemur, G., Çambay, Z., Keleştemur, N.,
Uslu, AA. (2021). Effect of egg flour as an
alternative protein source on biochemical
parameters of rainbow trout. Iranian Journal of
Fisheries Sciences 20 (1), 254-263.
- Turan, H., Kaya, Y. and Sönmez, G. (2006). Balık
etinin besin değeri ve insan sağlığındaki yeri.
Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,
23: 505-508.
- Yadav, M.K., Khati, A., Chauhan, R.S., Arya, P. and
Semwal, A. (2021). A Review on Feed Additives
used in Fish Diet. International Journal of
Agriculture Environment and Biotechnology, 6,
184-190.
- Yamashita, K., Lizuka, Y., Imai, T. and Namiki, M.
(1995). Sesame seed and its lignans produce
marked enhancement of vitamin E activity in rats
fed a low alpha-tocopherol diet. Lipids, 30,
1019-1028.

Doğal Elyaf Takviyeli (Jüt-Keten-Kenevir) Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Metalografik Olarak İncelenmesi

Yahya Taşgın*, Seçkin Kandemir

Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Tunceli, Türkiye

*yahyatashgin@munzur.edu.tr , seckinkandemir06@gmail.com 

Makale gönderme tarihi:04.10.2023, Makale kabul tarihi:12.10.2023

Öz

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte özellikle polimer esaslı saf haldeki malzemelerin yetersiz kalmasından dolayı kompozit malzemeler geliştirilmiş ve zamanla kullanım alanları çoğalmıştır. Son yıllarda artan çevre bilincinin getirdiği üretimde sürdürülebilirlik ve yenilenebilir, çevre dostu kompozitlerin kullanımını giderek yaygınlaştırmaktadır. İçeriğindeki malzemelerden en az birisinin doğal olması ile tanımlanan biyokompozitlerin, alternatiflerine kıyasla çok daha çevre dostu olmalarına karşın, hidrofilik yapıda olmaları ve mekanik özelliklerinin zayıf olması sebebiyle sanayide kısıtlı alanda kullanılmaktadır. Bu çalışmada takviye malzemesi olarak kullanılan bilirligini ortaya koymak için jüt, keten ve kenevir den oluşan doğal lif takviyeli epoksi kompozitlerin (NFRC) mekanik ve metalografik açıdan ortaya koyduğu farkındalıklar incelenmiştir. Üretim yöntemi olarak vakum destekli reçine transfer kalıplama (VDRTK) metodu kullanılmıştır. Metalografik olarak incelediğimizde; doğal liflerin yapı içerisinde yer alması ve epoksinin ara yüzeylere nüfuziyeti açısından problem oluşturmadığı görülmüştür. Çekme testleri, kompozitler arasında farklı mekanik davranışları ortaya çıkarmıştır; keten kompoziti en yüksek çekme mukavemetini (75,56 MPa) jüt ve kenevirin ise ketene kıyasla düşük çekme mukavemetine sahip olduğu görülmektedir. Endüstriyel olarak üretilen yapay elyaflara (Cam elyafı) kıyasla mekanik ve mikro yapı açısından zayıf görünse de özellikle karmaşık yapıları üretiminde nüfuziyet ve ara bölgelere yerleşebilecek olmasından kaynaklı daha kullanışlı olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğal elyaf, epoksi, mekanik özellikler, çekme mukavemeti

Mechanical and Metallographic Investigation of Natural Fiber Reinforced (Jute-Linen-Hemp) Composite Materials

Abstract

With the development of technology, especially due to the inadequacy of polymer-based pure materials, composite materials have been developed and their usage areas have increased over time. In recent years, the concern for sustainability and renewability in production brought about by increasing environmental awareness has made the use of environmentally friendly composites increasingly widespread. Although biocomposites, which are defined by the fact that at least one of the materials in their content is natural, are much more environmentally friendly compared to their alternatives, they are used in limited areas in the industry due to their hydrophilic structure and poor mechanical properties. In this study, the mechanical and metallographic properties of natural fiber reinforced epoxy composites (NFRC) consisting of jute, flax and hemp were investigated to demonstrate their suitability as reinforcement materials. Vacuum assisted resin transfer molding (VDRTK) method was used as the production method. When we examined metallographically; it was seen that the natural fibers were not a problem in terms of the presence of natural fibers in the structure and the penetration of epoxy into the interfaces. Tensile tests revealed different mechanical behaviors among the composites, with flax composite having the highest tensile strength (75.56 MPa) and jute and hemp having low tensile strength compared to flax. Although it seems to be weaker in terms of mechanical and microstructure compared to industrially produced man-made fibers (glass fiber), it has been revealed that it is more useful in the production of complex structured parts due to its ability to penetrate and settle in intermediate regions.

Keywords: Natural fiber, epoxy, mechanical properties, tensile strength

GİRİŞ

Son yıllarda dünyamızı küresel ısınma ve çevre kirliliği etkilerinden korumak için birçok ülkenin harcadığı çaba daha etkili hale gelmeye başladı. Bu nedenle çevre dostu malzemelerin endüstride kullanımı önem arz etmektedir. Bu yöndeki çabalardan bir tanesi de bilim insanlarının üzerinde çalıştığı her alanda sıkça kullanılan kompozit malzemeleri içermektedir [Selmi ve ark., 2022; Habibi ve ark., 2018]. Kompozit malzemeler bünyesinde, doğal elyaf takviyeli kompozitler (NFRC'ler), malzemelerde hafiflik ve çevreye daha az zararlı etkilerinden dolayı metaller ve sentetik elyaf takviyeli kompozitlere alternatif olarak çok fazla ilgi görmektedir (Wilson, 2017). Doğal elyaf bazlı malzemeler teknik alanlara uygun mekanik özellikler sergilerler (Shinoj ve ark., 2010). Geleneksel kompozit malzemelerin yerini alan, biyokompozitler gibi daha çevre dostu ve daha hafif malzemeler ön plana çıkmaktadır. Araştırmacıların doğal liflerle güçlendirilmiş kompozit malzemelere odaklanmalarının nedeni, bu kompozitler, düşük yoğunluğa sahip olmalarının yanında sahip oldukları iyi mekanik özelliklerdir (Abu-Sharkh ve ark., 2004; Ak, 1994; Pradhan, 2022). Bitki liflerinin kompozit malzemelerde takviye olarak kullanılması otomotiv sektörü gibi çeşitli faaliyet alanlarında giderek artmaktadır (Sassoni ve ark., 2014; Baley ve ark., 2005).

Aramid, karbon gibi sentetik takviyeli kompozit malzemeler ve cam elyafları, otomobil, inşaat ve havacılık dahil olmak üzere çeşitli alanlarda çok sayıda uygulamaya sahiptir (Tanzi, 2019). Bu malzemeler arasında cam elyaflar, benzersiz mekanik özellikleri ve düşük üretim maliyetleri nedeniyle en popüler olanıdır. Ancak sentetik elyafların kullanılması insan sağlığına ve çevreye zarar vererek cilt alerjileri ve akciğer kanseri gibi sorunlara neden olabilir. Bu sorunlara çözüm olarak doğal elyaflar gibi çevreye duyarlı malzemeler kompozit endüstrisinde gün geçtikçe popülerlik kazanmıştır (Tahir, 2011; May-Pat ve ark., 2013).

Doğal lifler, bitkiler de dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan elde edilebilir (keten, kenevir, jüt ve pamuk gibi), hayvanlar (yün ve ipek gibi) ve mineraller (asbest gibi) (Karthi ve ark., 2020).

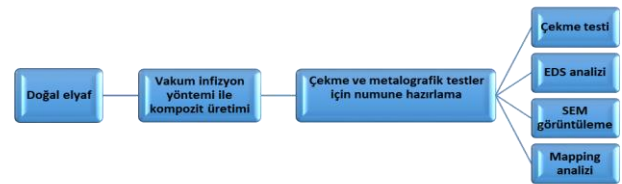
Bitki bazlı NFRC'lerin performansı sinerjik bir etkiyle belirlenir. Daha önce anlatılan doğal elyafın büyük potansiyeli, takviye elyafının özelliklerinden türetilen faktörlerin kombinasyonu, baz matrisi ve

fiber ile matrisin arayüzey etkileşiminin (örn. mekanik kilitleme, fiziksel yapışma, kimyasal bağlanma) aksine, birçok doğuştan gelen doğal elyaf özellikleri önemli teknik engeller ortaya koymaktadır. Yüksek performanslı kompozitlerin üretimi ve uygulamaları için, bu zorluklar, heterojen özellikleri içerir. Doğal lifin hücre duvarı yapısındaki, bileşimindeki ve geometrisi kullanılabilir takviye malzemesi olması yönünde birçok olumlu ve olumsuz özelliğiyle karşılaşılmaktadır. Doğal liflerde uyumsuzluğa yol açan hidrofilitik ve hidrofobik polimer matrisinde toplanma eğilimi, yüksek su emilimi, düşük termal stabilite ve ipliklere zor işlenebilirlik cam elyaflarla karşılaştırıldığında ciddi zorluklar olarak karşımıza çıkmaktadır (Naskar ve ark., 2016; Vaisanen ve ark., 2017; Fortea-Verdejo ve ark., 2017).

MATERYAL VE METOD

Jüt, keten, kenevir ve cam elyafı yerel piyasadan satın alınmış olup Şekil 2'de gösterilmektedir. Epoksi reçine olarak GEN680 marka reçine kullanılmıştır. Jelleşme süresi 250 g karışım için 23°C'de ve %50 nemde 30 dakikadır. Yoğunluğu $1,03 \pm 2$ g/ml'dir. Matris malzemesi 100gr epoksi için %40 sertleştirici kullanılarak hazırlandı.

Şekil 1'de vakum destekli reçine infüzyon yöntemi ile elde edilen numunelerin işlem akış şeması görülmektedir.



Şekil 1. Akış şeması

Tablo 1'de üretilen numunelerin bileşimleri ve takviye türleri görülmektedir.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1371357

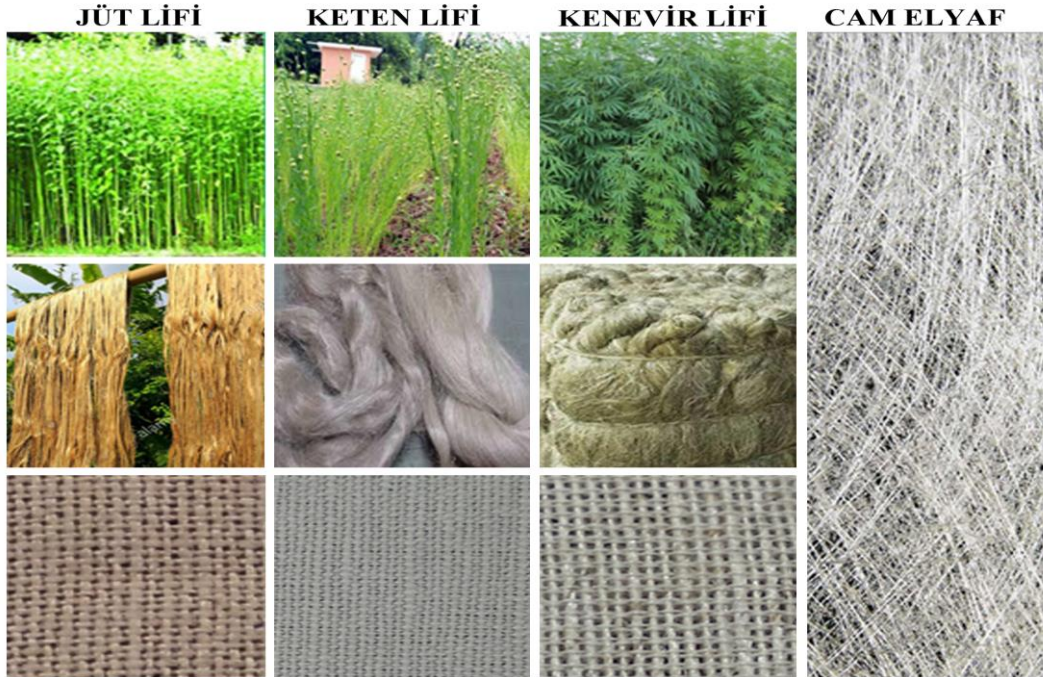
Tablo 1. Test Numunelerimin Sınıflandırılması

Numune	Matris malzemesi	Takviye malzemesi
N1	Epoksi + Sertleştirici	Jüt
N2	Epoksi + Sertleştirici	Keten
N3	Epoksi + Sertleştirici	Kenevir
N4	Epoksi + Sertleştirici	Cam elyafı

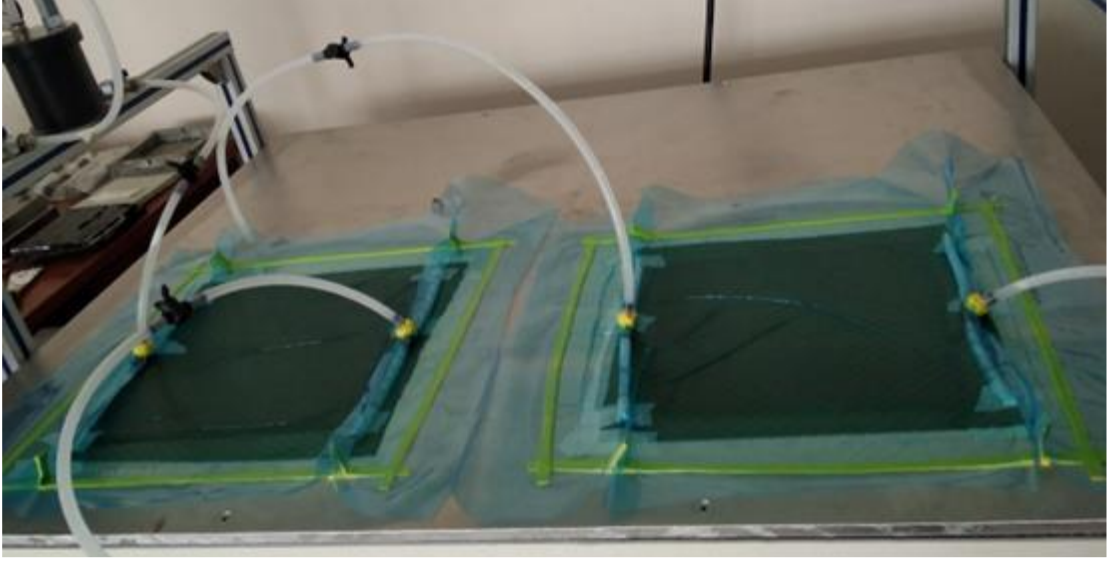
Kompozit plakalar, vakum destekli reçine transfer infüzyonu (VARTM) yöntemi kullanılarak üretildi (Demircan ve ark., 20219. Kompozit malzemelerin üretimine başlamak için takviye kumaşları istenilen ebatlarda kesildi. İşleme başlamadan önce tezgah yüzeyi iyice temizlenerek her türlü kir ve tozdan arındırıldı. Daha sonra bir ayırıcı film dikkatlice yerleştirildi ve sızdırmazlık bantları kullanılarak çalışma tezgahına sabitlendi. Kesilen takviye elyafları daha sonra bu çalışma için 35cm x 35cm boyutlarında hazırlanan doğal

kumaşlarla ayırıcı film üzerine katmanlandı. Kompozit yapıyı daha güçlü hale getirmek için dört kat kumaş katmanı kullanıldı. Daha sonra yine uygun boyutta kesilmiş soyma kumaşı katmanlı takviye malzemesinin üzerine yerleştirildi.

İnfüzyon sürecini başlatmak için, malzemelerle uygun hizalama sağlanacak şekilde soyulan kumaşın üzerine bir reçine dağıtıcı film yerleştirildi. Spiral hortumlar, havanın çekilebileceği ve reçinenin emilebileceği yanlara stratejik olarak yerleştirildi. Daha sonra doğru boyuta göre uyarlanmış bir vakum torbası tüm kurulumun üzerine yerleştirildi, sızdırmazlık macunuyla güvenli bir şekilde tutturuldu ve dış ortamdan etkili bir şekilde izole edildi. Reçine aktarımı için kurulum hazır olduğunda, sisteme hava girmesini önlemek için hortumların üzerindeki vanalar kapatıldı. Kompozit malzeme üretim tezgahının sıcaklığı 70 °C'ye ayarlandı ve kompozit malzemeler 8 saat vakum altında kürlenmeye bırakıldı. Üretim yöntemi Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil.2. Kullanılan doğal elyaf takviye elemanlarının işlem basamaklarına ait görünüm [URL-1].



Şekil 3. Vakum Destekli Reçine Transfer yöntemiyle vakumlama işlemi genel görünümü.

TARTIŞMA VE SONUÇ

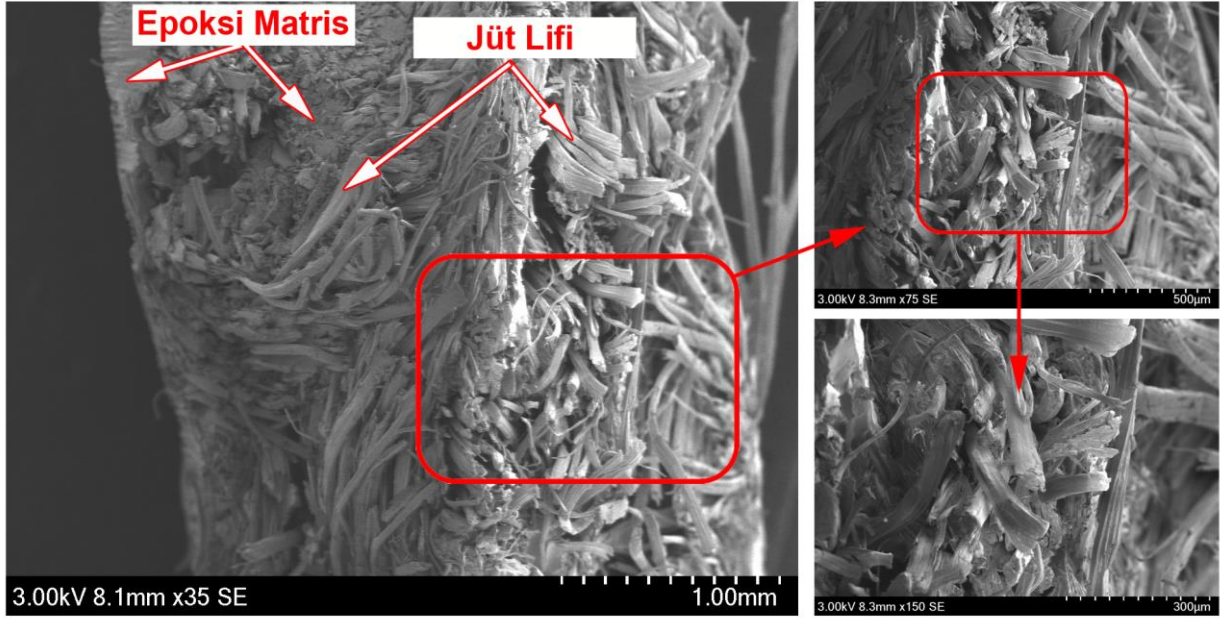
Bu çalışmada kullanılan numuneler jüt, keten, kenevir ve cam elyafı takviyeli olarak vakum destekli reçine transfer infüzyonu (VARTM) yöntemi kullanılarak her biri 4mm kalınlığında olacak şekilde üretilmiş olup N1,N2,N3,N4 şeklinde numaralandırılmıştır.

Epoksi matrisli ve jüt takviyeli N1 numunesinin farklı büyütmelelerdeki (35X- 75X- 150X) Sem görüntüleri Şekil 4 de incelendiğinde; jüt liflerinin kompozit içerisinde yoğun bir şekilde yer aldığı, epoksinin üretimde kullanılan vakum dan kaynaklı ara bölgelere çok iyi nüfuz ettiği görülmektedir. Kompozit N1 numunesi bünyesine jüt elyafının, daha güçlü bir yapının elde edilebilmesi için farklı yönlerde yerleşmiş olduğu da kesitte görülmektedir. Jüt takviyeli numuneden aldığımız Mepping görüntülerini ve EDS analizlerini Şekil 5 de incelediğimizde ise; Karbon esaslı epoksinin yapı

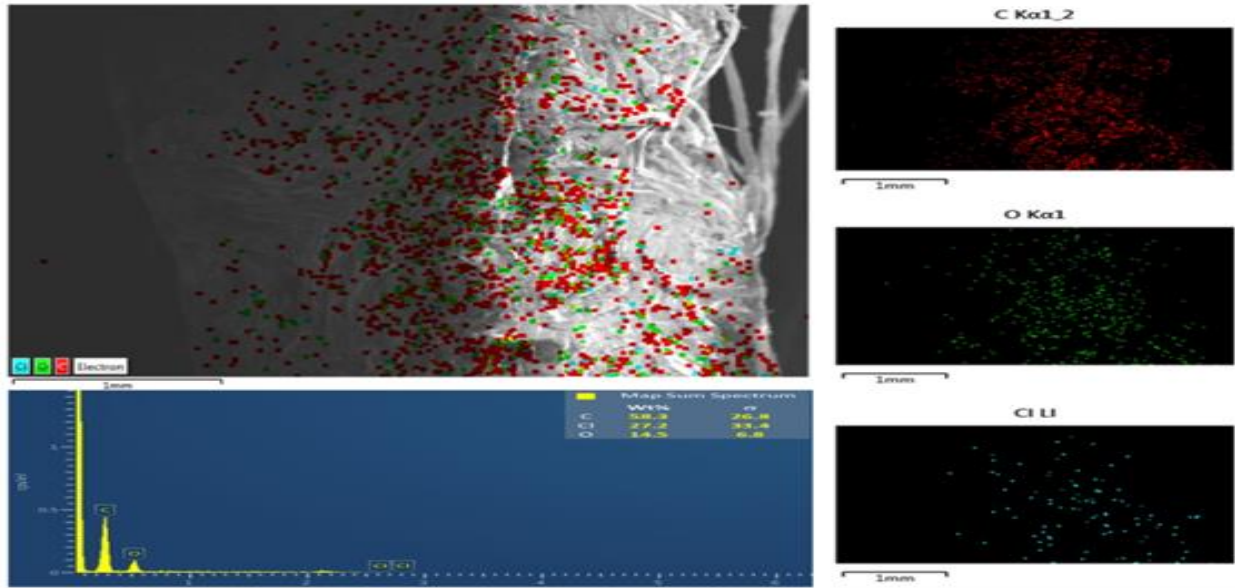
içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı tespit edilmiştir.

N2 numunesinde kullanılan keten liflerin, malzemenin kesiti içerisindeki durumunu Şekil 6'deki farklı büyütmelelerdeki SEM görüntülerinde incelediğimizde; Matrisi oluşturan epoksinin yapı içerisinde düzenli bir dağılım göstermediği, keten elyaflardan bağımsız hareket ederek kendine özgü akış kanalları oluşturduğu görülmektedir. Ketenin üretim aşamasında, numune içerisine düzenli yerleştirilmesine rağmen, epoksinin sıcaklık değerlerinden ve vakumun etkisiyle farklı yönlerde ve şekillerde hareket ettiği görülmüştür. Özellikle epoksinin yapı içerisinde bloklar halinde yer aldığını Şekil 7 da verdiğimiz Mapping analizinde de görmekteyiz.

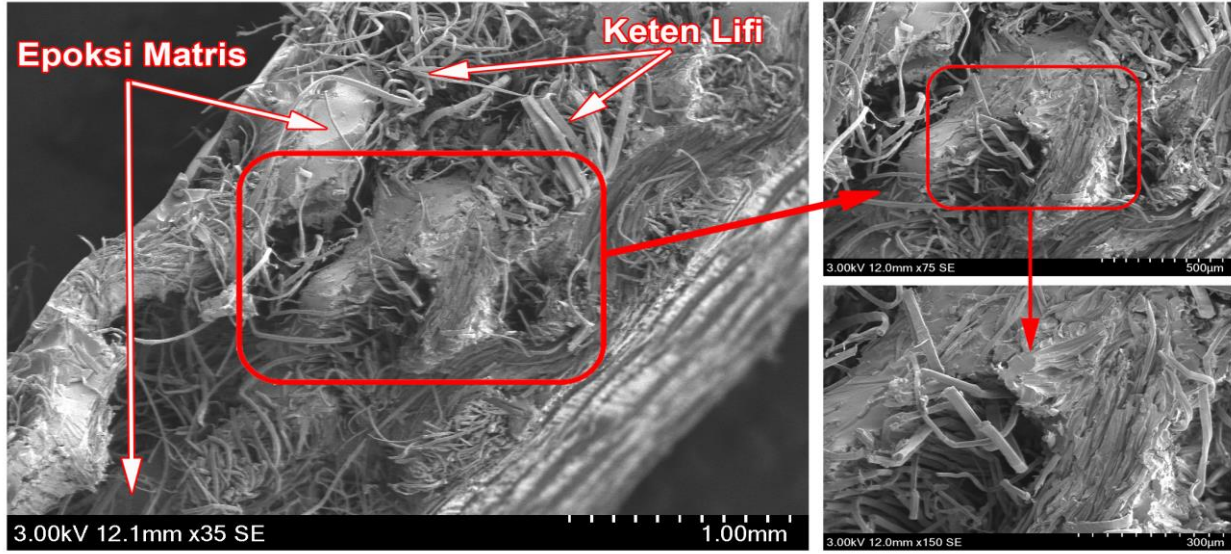
Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1371357



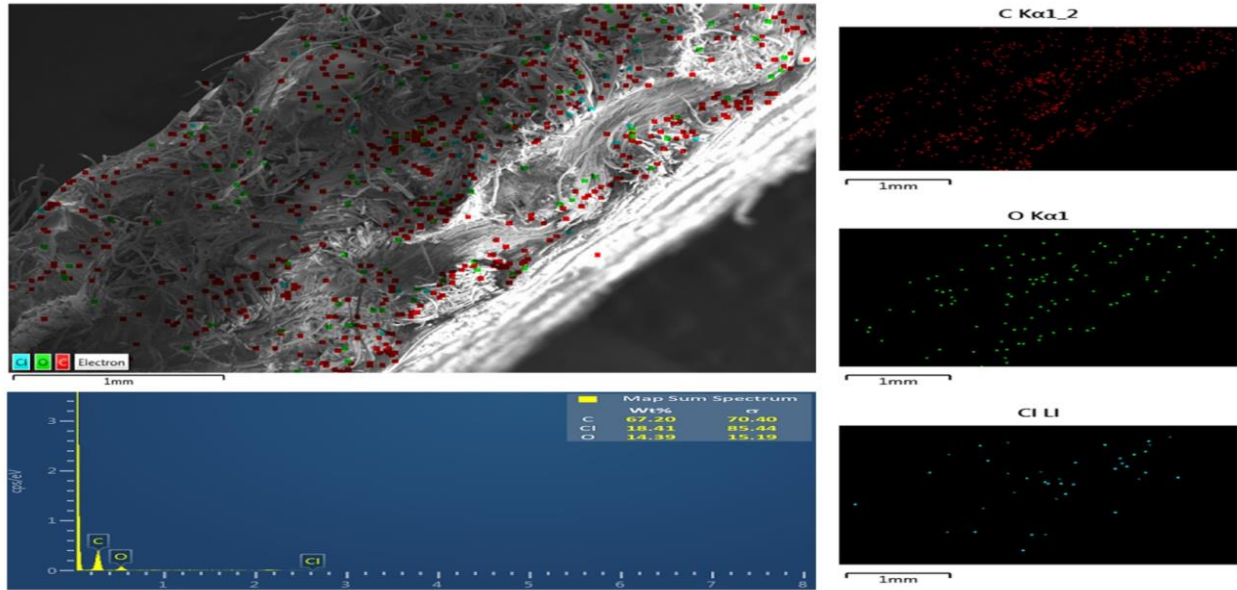
Şekil 4. N1numunesi için 35x, 75x, 150x büyütmelerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri



Şekil 5. N1numunesinden alınan Mapping ve EDS analiz sonuçları.



Şekil 6. N2 numunesi için 35x, 75x, 150x büyütmelerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri

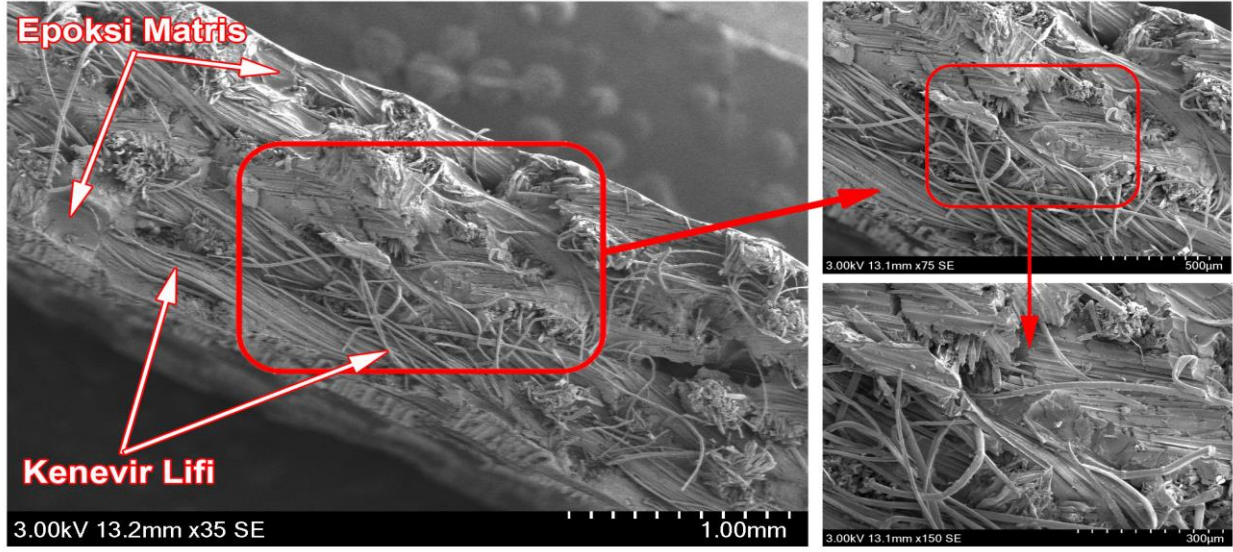


Şekil 7. N2 numunesinden alınan Mapping ve EDS analiz sonuçları.

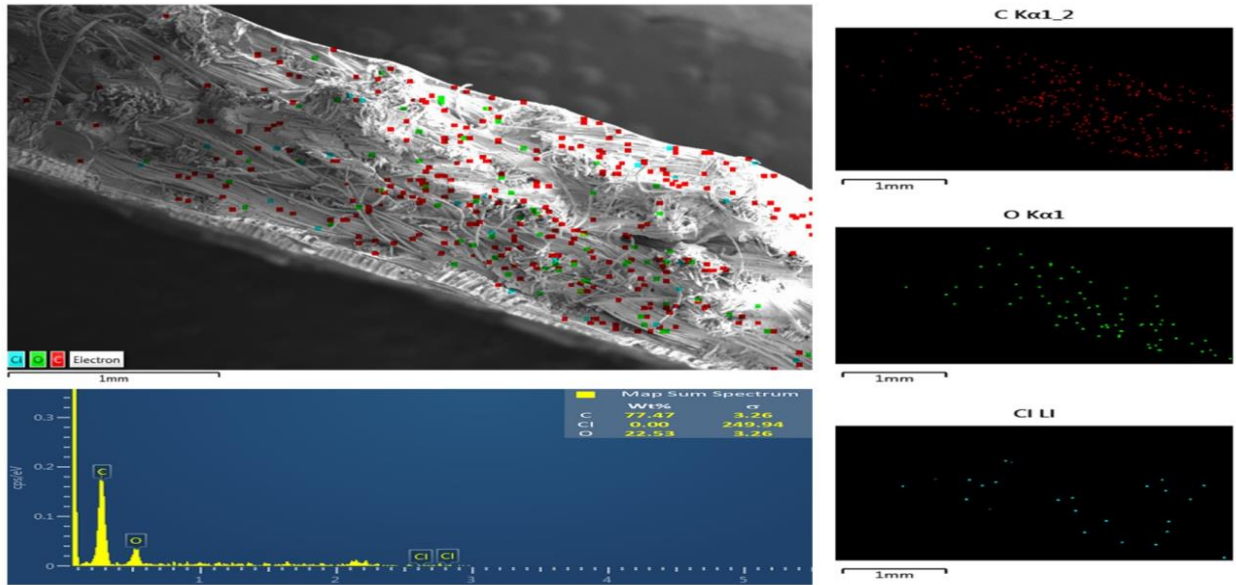
N3 numunesini Şekil 8'deki farklı büyütmelerdeki SEM görüntülerinden incelediğimizde; doğal kenevir liflerinin epoksi içerisinde düzenli bir şekilde yer aldığı, düzensiz görülen bölgelerin ise kenevir liflerinin farklı yönlerde yerleştirilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Epoksinin ise hem aralara nüfuz ettiği hem de kenevir lifleri arasında tabakalar halinde yer aldığı görülmektedir. Şekil 9 de görülen mapping analizinde de epoksinin yapı içerisinde homojen dağıldığı görülmektedir.

Şekil 10 da verilen cam fiber takviyeli N4 numunesine ait farklı büyütmelerdeki SEM görüntülerini incelediğimizde; Cam elyafın doğal elyaflara kıyasla bünyesine epoksi almaması, epoksinin reaksiyon sıcaklığından etkilenmemesi, iğnemsiz düz bir yapıya sahip olmasından kaynaklı kompozit yapısı daha düzenli bir görünüm sergilemiştir. Şekil 11 de gördüğümüz elementer dağılımı veren mapping analizinde de düzenli yapı görülmektedir.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1371357

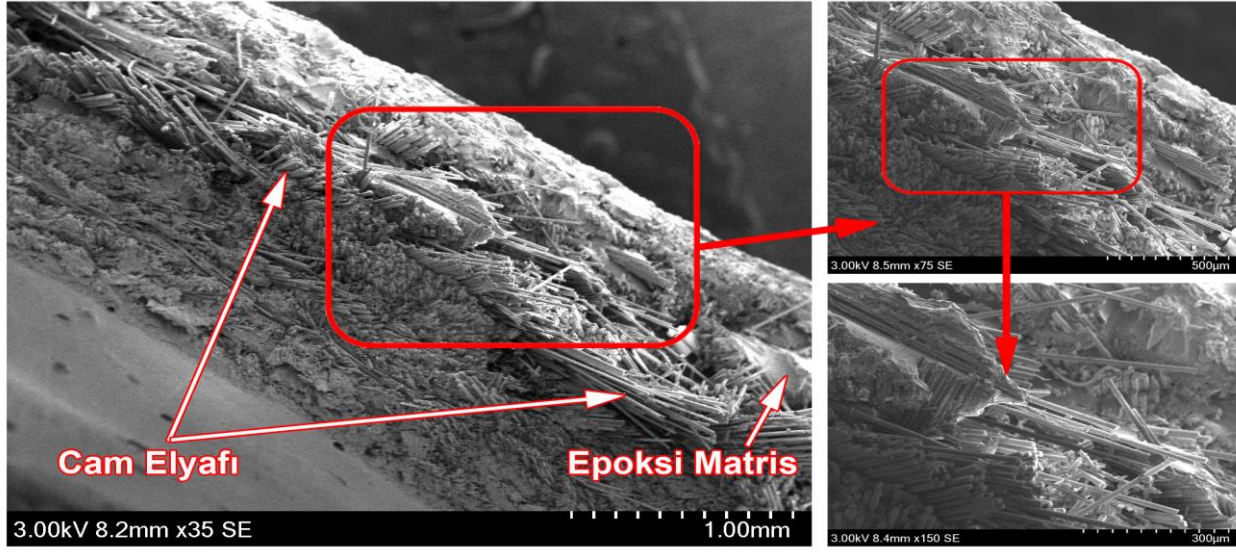


Şekil 8. N3numunesi için 35x, 75x, 150x büyütmelerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri

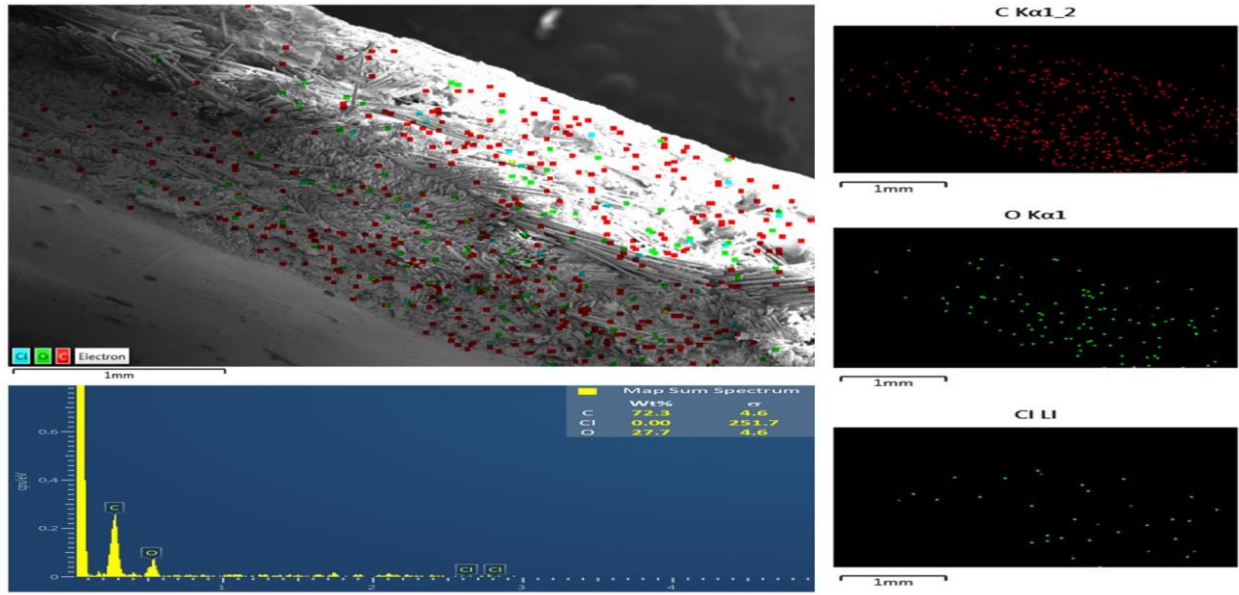


Şekil 9. N3 Numunesinden alınan Mapping ve EDS analiz sonuçları.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1371357



Şekil 10. N4 numunesi için 35x, 75x, 150x büyütmelerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri



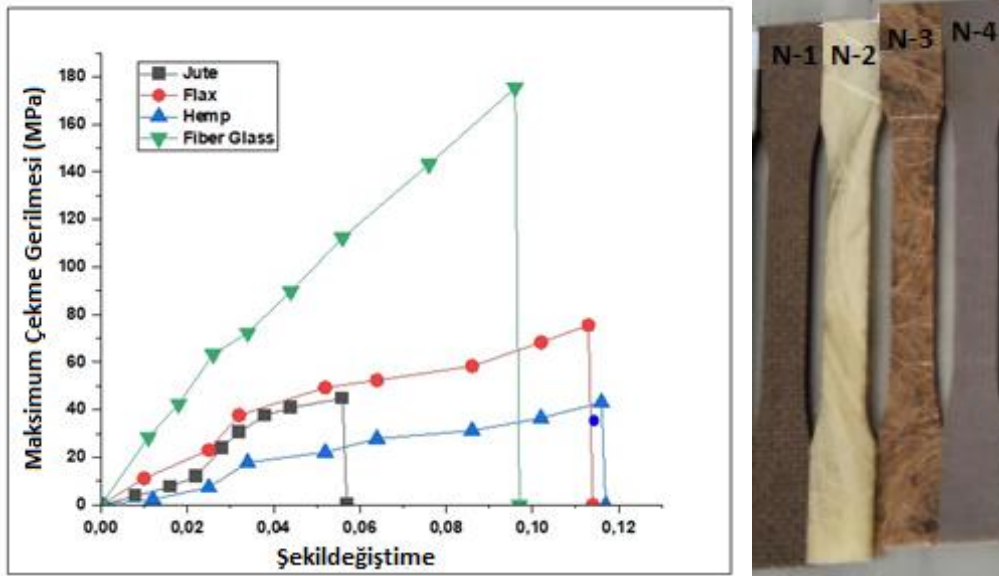
Şekil 11. N4 Numunesinden alınan Mapping ve EDS analiz sonuçları.

Doğal elyaf takviyeli üç numune ve kıyaslamak için ilave ettiğimiz bir cam elyaf numunemiz önce standart ölçülerde bir şablon çıkartılmış, kesici takımların yardımıyla kesilerek çekme testi için hazır hale getirilmiştir. Çekme testi ASTM D638 standardına göre 100KN kapasiteli SHIMADZU çekme cihazında gerçekleştirildi. Sonuçlarını Tablo 2 de incelediğimizde; x ve y eksenlerinde yerleştirilen doğal elyaf takviyeli numuneleri arasında değerlendirdiğimizde, Jüt ve Kenevir den oluşan

kompozitlerin çekme sonuçlarının keten takviyeli N2 numunesine kıyasla çok düşük olduğu görülmektedir. Uzama oranlarına baktığımızda ise kenevir içerikli N3 numunesinin Keten takviyeli N2 numunesine yakın bir uzama gösterdiği tespit edilmiştir. Yapay elyaf içerikli (Cam elyaf) N4 numunesini Jüt-Keten-Kenevir takviyeli numunelerle kıyasladığımızda; cam elyaf takviyeli kompozitin çekme değerlerinin iki katından fazla olduğu Şekil 12'deki çekme eğrisinde görülmektedir.

Tablo 2. Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Numune No	Maksimum Kuvvet (N)	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)	Maksimum Uzama(%)	Maksimum Uzama(mm)
N1	1921,88	44,7990	2,32696	2,6760
N2	2259,38	75,5644	5,60957	6,4510
N3	856,25	43,0493	5,64435	6,4910
N4	5015,63	175,3720	3,94870	4,54100



Şekil 12. N1, N2, N3, N4 numuneleri ve bu numunelere ait Çekme eğrisi

DEĞERLENDİRME

Bu çalışmanın amacı, dört farklı takviye malzemesi (jüt, keten, kenevir lifi ve cam elyafı) kullanan doğal ve yapat elyaf içerikli epoksi matrisli kompozitlerin (NFRC'ler) metalografik ve mekanik özelliklerine ilişkin kapsamlı bir çalışma yapmaktır. Bu amaca ulaşmak için vakum destekli reçine transfer infüzyonu (VARTM) tekniği kullanılarak kompozit plakalar üretildi. Kompozit numuneler arasındaki farklılıklar, Sem görüntüleri, Mepping, EDS analizleri ve çekme testleriyle belirlenmiştir.

Metalografik olarak numunelerin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, doğal elyaf takviyeli kompozitlerin vakum destekli reçine transfer

infüzyonu (VARTM) tekniğiyle üretiminin mümkün olduğu söylenebilir. Doğal elyaflar olarak adlandırdığımız jüt, keten, kenevir liflerinin üretim aşamasında numune içerisine düzenli yerleştirilmesine rağmen, epoksinin reaksiyon sıcaklığından ve vakumun etkisiyle farklı yönlerde ve şekillerde hareket ettiği görülmüştür. Doğal liflerin kullanılmadan önce belirli işlemlerden (kurutma, ayırma, tarama) geçirilmiş olması, kompozit plakaların üretimini kolaylaştırdığı ve yapısal olarak avantaj sağladığı düşünülmektedir.

Çekme testi sonuçları, NFRC'lerin mekanik davranışına ilişkin değerli bilgiler sağladı. Kompozitler arasında gerilme mukavemeti, gerinim

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1371357

ve elastisite modülünde gözlenen farklılıklar, onların farklı mekanik profillerinin altını çizmektedir. Keten, 75,56 MPa ile doğal elyafın içerisinde en yüksek gerilme mukavemetini sergiledi ve bu da onu sağlam mekanik özellikler gerektiren uygulamalar için birinci sınıf bir seçim haline getirdi. Uzama oranlarına baktığımızda ise kenevir takviyeli kompozit plakanın Keten takviyeli plakaya yakın bir uzama gösterdiği tespit edilmiştir. Yapay elyaf içerikli (Cam elyaf) plakanın ise, Jüt-Keten-Kenevir takviyeli numunelerle kıyasladığımızda; cam elyaf takviyeli kompozitin çekme değerlerinin doğal elyaf takviyelilere kıyasla iki katından fazla olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak doğal elyaf olarak adlandırdığımız, jüt, keten, kenevir liflerinin kompozit plakalarda yapısal ve üretilirliği açısından kullanılabileceği. Yapay elyafların mekanik açıdan avantajlı bir malzeme olarak görünse de maliyeti uygulanabilirliği açısından doğal elyafların daha avantajlı olduğu söylenebilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar bu makaleyle ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan ederler.

KAYNAKLAR

Abu-Sharkh, B. F. ve Hamid, H. (2004). Degradation study of date palm fibre/polypropylene composites in natural and artificial weathering: mechanical and thermal analysis. *Polymer Degradation and Stability*, 85(3), 967-973.

Ak, B. (1994). Composites reinforced with cellulose based fibers. *Prog Polym Sci*, 24, 221-274.

Baley, C. (2005). *Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites*. Ed. Techniques Ingénieur.

Demircan, G., Kisa, M., Ozen, M. ve Acikgoz, A. (2021). Quasi-static penetration behavior of glass-fiber-reinforced epoxy nanocomposites. *Mechanics of Composite Materials*, 57, 503-516.

Fortea-Verdejo, M., Bumbaris, E., Burgstaller, C., Bismarck, A. ve Lee, K. Y. (2017). Plant fibre-reinforced polymers: where do we stand in terms of tensile properties?. *International Materials Reviews*, 62(8), 441-464.

Habibi, M., Laperrière, L. ve Hassanabadi, H. M. (2018). Replacing stitching and weaving in natural fiber reinforcement manufacturing, part 2: Mechanical

behavior of flax fiber composite laminates. *Journal of natural fibers*.

Karthi, N., Kumaresan, K., Sathish, S., Gokulkumar, S., Prabhu, L. ve Vigneshkumar, N. (2020). An overview: Natural fiber reinforced hybrid composites, chemical treatments and application areas. *Materials today: proceedings*, 27, 2828-2834.

May-Pat, A., Valadez-González, A. ve Herrera-Franco, P. J. (2013). Effect of fiber surface treatments on the essential work of fracture of HDPE-continuous henequen fiber-reinforced composites. *Polymer Testing*, 32(6), 1114-1122.

Naskar, A. K., Keum, J. K. ve Boeman, R. G. (2016). Polymer matrix nanocomposites for automotive structural components. *Nature nanotechnology*, 11(12), 1026-1030.

Pradhan, P., Purohit, A., Mohapatra, S. S., Subudhi, C., Das, M., Singh, N. K. ve Sahoo, B. B. (2022). A computational investigation for the impact of particle size on the mechanical and thermal properties of teak wood dust (TWD) filled polyester composites. *Materials Today: Proceedings*, 63, 756-763.

Sassoni, E., Manzi, S., Motori, A., Montecchi, M. ve Canti, M. (2014). Novel sustainable hemp-based composites for application in the building industry: Physical, thermal and mechanical characterization. *Energy and Buildings*, 77, 219-226.

Selmi, S., Habibi, M., Laperrière, L. ve Kelouwani, S. (2022). Characterisation of natural flax fibers honeycomb: compression damage analysis using acoustic emission. *Journal of Natural Fibers*, 19(3), 1084-1093.

Shinoj, S., Visvanathan, R. ve Panigrahi, S. (2010). Towards industrial utilization of oil palm fibre: Physical and dielectric characterization of linear low density polyethylene composites and comparison with other fibre sources. *Biosystems engineering*, 106(4), 378-388.

Tahir, P. M., Ahmed, A. B., SaifulAzry, S. O. ve Ahmed, Z. (2011). Retting process of some bast plant fibres and its effect on fibre quality: a review. *BioResources*, 6(4).

Tanzi, M. C., Farè, S. ve Candiani, G. (2019). *Foundations of biomaterials engineering*. Academic Press.

URL-1 <https://www.filofibra.com.tr/tr/blog/iplik-cesitleri-ve-tekstil-sektorunde-kullanimi> (Erişim tarihi:08.05.2022)

Väisänen, T., Das, O. ve Tomppo, L. (2017). A review on new bio-based constituents for natural fiber-polymer composites. *Journal of Cleaner Production*, 149, 582-596.

Wilson, A. (2017). Vehicle weight is the key driver for automotive composites. *Reinforced Plastics*, 61(2), 100-102.




Study on Geant4 Simulation of Cherenkov Photons Generation and Propagation in Quartz Core Fibers


Orhan Aydilek^{1,2*}, Suat Ozkorucuklu², Salim Cerci³, Deniz Sunar Cerci³

¹Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, Erzincan, Türkiye

²Istanbul University, Faculty of Science, Department of Physics, Istanbul, Türkiye

³Adıyaman University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, Adıyaman, Türkiye

*oaydilek@ogr.iu.edu.tr , suat.ozkorucuklu@istanbul.edu.tr , scerci@adiyaman.edu.tr 

dsunar@adiyaman.edu.tr 

Received date:12.10.2023, Accepted date: 27.11.2023

Abstract

In today's world, quartz-core fibers are extensively used in scientific studies due to their high radiation resistance. Thanks to the quartz core's ability to generate Cherenkov photons and propagate these photons, as well as those entering the fiber from outside, it is frequently studied in the context of high-energy and nuclear physics for detector designs. In this paper, a detailed simulation was developed using the Geant4 simulation application, focusing on the photon production and propagation capabilities of quartz-core fibers. Molex's recently developed FBP (FBP600660710) broadband quartz-core fibers were integrated in the simulation environment. The production and propagation of Cherenkov photons were tested by having a charged particle pass through a specific impact point and angle on a quartz-core fiber. Based on the obtained data, reflectors were integrated onto the open end surface of the fiber to reduce photon losses, and tests were conducted again. The effects of fiber length on the photon-carrying capacity of the fiber were also tested.

Keywords: Quartz fibers, Cherenkov photons, photon propagation, geant4 framework.

Kuvars Çekirdekli Fiberlerde Cherenkov Fotonlarının Üretimi ve İletimi Üzerine Geant4 Simülasyon Çalışması

Öz

Günümüzde kuvars çekirdekli fiberler hem iletişim hem de yüksek radyasyon dirençleri sayesinde bilimsel çalışmalarda yoğunlukla kullanılmaktadır. Fiberin kuvars çekirdeği Çerenkov fotonu üretebilme ve üretilen bu fotonları yada dışarıdan fiber içerisine giren fotonları iletebilme kabiliyeti sayesinde yüksek enerji fiziği ve nükleer fizik alanlarında dedektör tasarımlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kuvars çekirdekli fiberlerin foton üretimi ve iletimi üzerine Geant4 simülasyon uygulaması kullanılarak detaylı bir simülasyon geliştirilmiştir. Geant4 simülasyon ortamında Molex firmasının son dönemlerde geliştirmiş olduğu FBP(FBP600660710) geniş bant kuvars çekirdekli fiberleri kullanılmıştır. Bir kuvars çekirdekli fiber üzerine belirli çarpma açıları ve fiber üzerindeki belirli çarpma noktalarına yüklü parçacıklar gönderilerek, fiberin Çerenkov fotonları üretimi ve iletimi incelenmiştir. Elde edilen verilere dayanarak, foton kayıplarını azaltmak amacıyla fiberin açık ucuna yansıtıcı entegre edilerek testler tekrar gerçekleştirilmiştir. Fiber uzunluğunun fiberin foton taşıma kapasitesi üzerine etkileri de incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuvars çekirdekli fiber, Çerenkov fotonları, foton üretimi ve iletimi, geant4 simülasyon uygulaması.

INTRODUCTION

Quartz-core fibers are used in global communications infrastructures that can transmit data over photons with minimal loss. Figure 1 illustrates the improvement of photon transmission in optical fibers over the years. Quartz-core fibers are not only used in communication infrastructure but are also

widely applied in scientific research. As shown in Figure 1, the photon transmission capability of Quartz-core fibers has improved over the years, making them more suitable for scientific research (Wandel, 2005). These fibers are used in high-energy

physics for both detector development and data transmission.

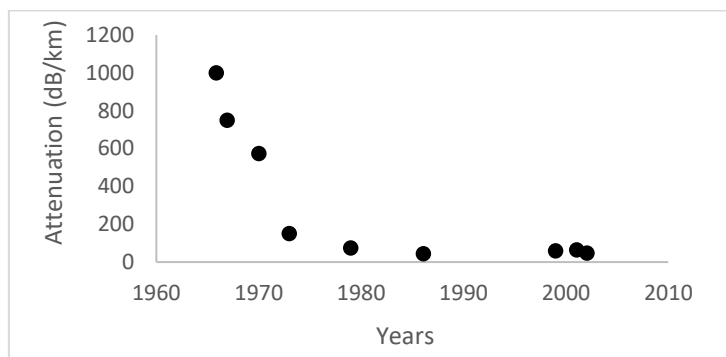


Figure 1. Evolution of optical fiber loss reduction over the past decades, starting from 1965 (Wandel, 2005)

In addition to its use in high-energy and nuclear physics, another important factor in the use of Quartz-core fibers is their high resistance to radiation (Cankocak et al., 2019; Girard et al., 2019; Hagopian, 1999; Kharzheev, 2019; Thomas, 2024). The Large Hadron Collider (LHC) is engineered to achieve a center-of-mass energy of 14 TeV in proton-proton collisions every 25 ns. However, now the LHC is being upgraded to High Luminosity Large Hadron Collider (HL-LHC), which will operate at 5 times higher luminosity ($L = 5 \cdot 10^{34} \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and is likely to reach ($L = 7.5 \cdot 10^{34} \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), enabling new physical discoveries. With the advent of HL-LHC, detectors operating at higher luminosity values and the currently used wavelength shifter (WLS), and other fibers will be exposed to higher radiation. Their high radiation resistance will make Quartz-core fibers more suitable for use in detectors and devices at HL-LHC that operate at higher luminosities. We have extensively discussed the development and optimization of Geant4 simulations for the geometry of a tungsten quartz fiber luminometer designed for application in the CMS experiment during the HL-LHC era (Selivanova et al., 2020; Sunar Cerci et al., 2023).

When relativistic charged particles pass through the Quartz-core fibers, they generate Cherenkov radiation and propagate the photons. Quartz-core fibers are valuable in detector designs for detecting charged particles in the environment. The fibers are usually used so that one end is integrated into a converter plate or scintillator in the detector and the other end is connected to a photodetector for photon readout. Not only for the propagation of photons but

also for the generation and capture of Cherenkov photons, the impact angles, and locations of charged particles on the fibers are of critical importance. These impact angles and impact points of charged particles on Quartz-core fibers determine the number of photons the fiber generates and propagates. Similarly, the refractive indices and the dimensions of the core and cladding of the fiber determine the number of photons generated and propagated.

In this study, investigations of the generation and propagation of Cherenkov radiation in Quartz-core fibers were performed using the Geant4 simulation toolkit. As the impact angles and impact points of charged particles on Quartz-core fibers change, the number of photons generated and propagated by the fiber, as well as their motions within the fiber, were studied and analyzed.

MATERIAL AND METHODS

Properties of Quartz Fibers

Quartz-core fibers are manufactured worldwide for various purposes. Molex is one of the companies that manufacture various fibers, and the fiber used in this study is the Quartz-core FBP broadband fiber (FBP600660710) manufactured by Molex.

The quartz core fiber used in this study has a core diameter of 600 micrometers, a cladding diameter of 660 micrometers, and a buffer diameter of 710 micrometers (Figure 2). Due to the low content of OH in its structure, it exhibits high radiation resistance. The wavelength range of photon transmission is between 275 nm and 2100 nm as shown in Figure 3. It can successfully transmit photons in the UV and NIR regions. The core is made of quartz material with

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1375196

a chemical structure of SiO₂, while the cladding is made of doped silica. These fibers can operate at temperatures between -65 and +300 degrees Celsius.

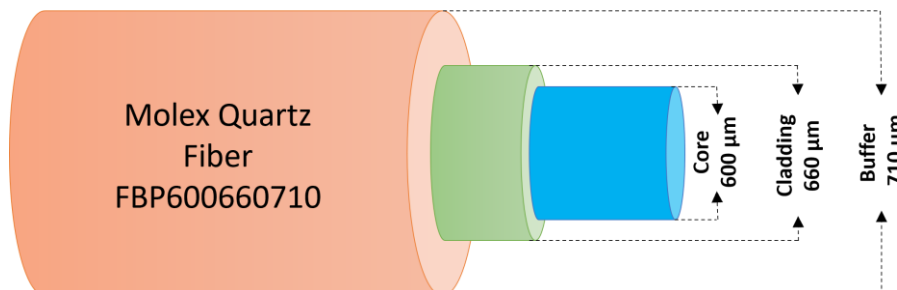


Figure 2. Cross-section of the FBP fiber (the core is blue, the cladding is green, and the buffer area is orange.) (Polymicro Mox, 2023)

The numerical aperture between the cladding and the core is 0.22 (Polymicro Mox, 2023).

Cherenkov Photon Production and Propagation in Fiber

The refractive indices of the core and cladding of the fiber are crucial for photons to propagate in the fiber. A photon entered the fiber from outside or generated inside the fiber propagates inside the fiber by hitting the cladding at certain angles. In this study, the propagation of Cherenkov radiation generated inside the quartz-core fiber was investigated. Cherenkov radiation forms at a certain angle in a cone shape.

There is a relationship between the refractive index and this angle called the Cherenkov relation (Béjar et al. 2020; Polymicro Mox, 2023). The opening angle of the Cherenkov cone is defined as:

$$\theta = \frac{1}{\beta n}, \quad \beta = \frac{v}{c}$$

where θ is the Cherenkov angle as shown in Figure 4, β is the rate constant, and n is the refractive index of the medium

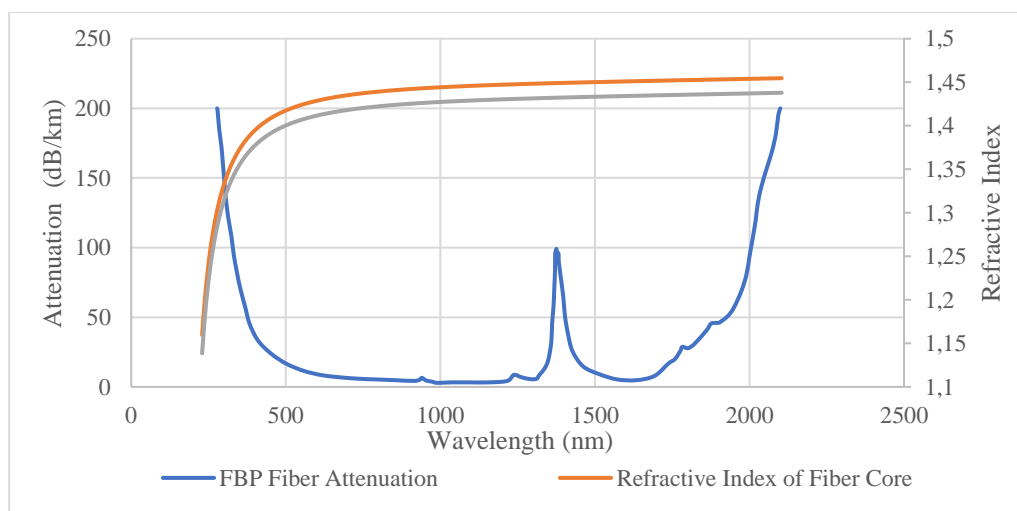


Figure 3. Wavelength-dependent properties of the FBP600660710 Quartz-core fiber are detailed in the graph. The orange curve represents the refractive index of the fiber core (Malitson, 1965), the gray curve indicates the refractive index of the fiber cladding (Malitson, 1965), and the blue curve outlines the fiber's attenuation (Polymicro Mox, 2023)

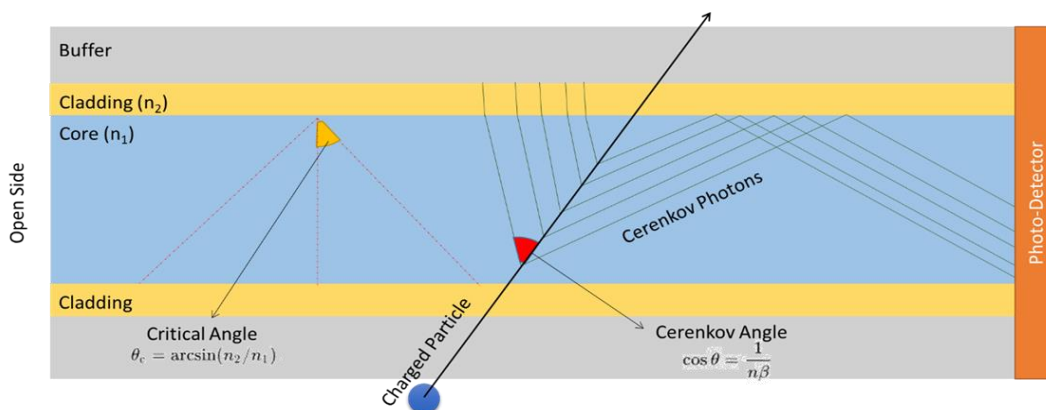


Figure 4. Side cross-sectional view of a three-layered Quartz-core fiber. When a charged particle passes through the fiber, it produces Cherenkov photons, whose movement is shown within the fiber

The Cherenkov angle, at which the Cherenkov photons are produced, depends on the refractive index of the medium within the fiber. The refractive indices as a function of wavelength for quartz material are shown in Figure 3. After the Cherenkov photons are generated in the fiber, they must exceed the critical angle (Bahaa and Malvin, 1991).

For a Cherenkov photon to propagate inside a quartz-core fiber, both the critical angle and the Cherenkov angle are significant and interrelated (Wolfenden et al., 2023). In Figure 4, the Cherenkov and critical angles are shown on a plane. However, the Cherenkov angle has a conical structure, and the fiber has a cylindrical shape. The variation of refractive indices with wavelength, the changes in the Cherenkov and critical angles depending on the refractive indices, and the photon propagation tunnel in the cylindrical structure of the fiber make the calculation process of photon transmission quite complex. Therefore, tests can be conducted through a simulation tool, and the photon transmission capabilities of the fiber under various impact angles can be examined. In this study, Cherenkov photons

generated by a charged particle impacting at 11 different angles (15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135°, 150°, 165°) and impacting 7 different points on the fiber (0 μm, 50 μm, 100 μm, 150 μm, 200 μm, 250 μm, 300 μm) were investigated, as well as their propagation. Moreover, to prevent photon loss, a reflector was integrated into the open end of this fiber, and tests were conducted again.

Geometric Structures and Geant4 Simulation Details

The Geant4 Simulation toolkit, developed by the European Council for Nuclear Research (CERN), is frequently used in branches of physics such as high-energy and nuclear physics (Agostinelli, 2003; Chen, Hu, Zhong, 2022; Geant4, 2023; Geant4 Collaboration, 2023). In this study, a simulation for a Quartz-core fiber was prepared using the Geant4 simulation toolkit. The geometry was integrated into the Geant4 simulation toolkit as shown in Figure 5, and the experimental data for this geometry, presented in Figure 3, was added with their detail.

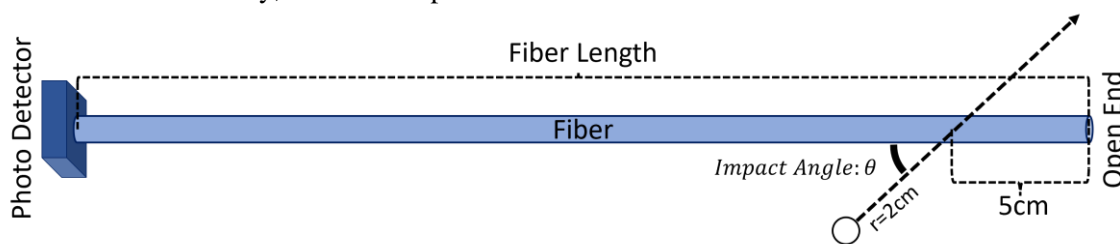


Figure 5. The design and placement geometry of a quartz-core fiber in the Geant4 simulation space is illustrated in the figure. The charged particle (beam) impacts the fiber's open end or its coated end, 5 cm before the open end of the fiber, from a distance of 2 cm and at an impact angle θ

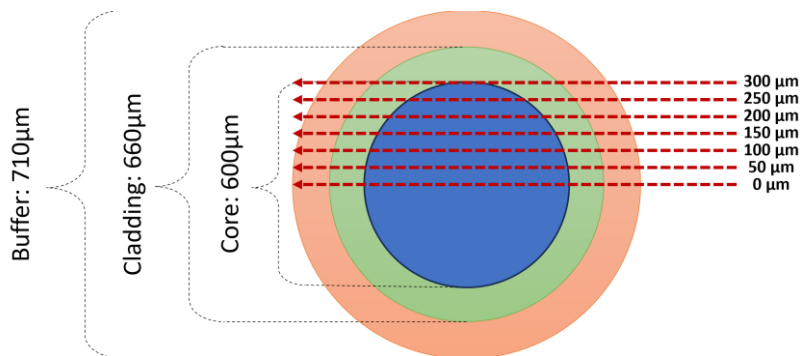


Figure 6. Cross-sectional view of a three-layered Quartz-core fiber is illustrated in the figure. Within the Geant4 simulation space, a particle is configured to impact seven different points on the fiber

The three-layered fiber structure presented in Figure 2 extends homogeneously along the fiber. One end of the fiber is connected with a photodetector, while the other end is left open (Open End). Electrons with an energy of 10GeV are directed towards the fiber at an impact angle of θ , 5 cm away from the open end. The electron is directed 2 cm from the impact point on the fiber.

As seen in Table 1, the simulation has been repeated for a total of 770 different combinations with 4 different parameters. Firstly, the open end of the fiber has been touched to the air. Due to this, some of the photons escape from the open end, while some reflect back. If a Tyvek reflector is integrated at the open end, most of the photons no longer escape and move back toward the photodetector. The second parameter is the change in the length of the fiber. The

manufacturer's experimentally obtained attenuation is presented in Figure 3 has been integrated directly into the simulation. As the length of the fiber changes in the simulation, the absorption of the photons also changes. The third parameter is the angle at which the particle impacts on the fiber. The effect of the impact angle on photon generation and propagation to the photodetector can be observed with this simulation. The part where photons travel inside the fiber is the core, thus the photons generated in this section are crucial. The final parameter is the point at which the particle impacts the fiber, which is changed at regular intervals from the center of the fiber's core to its outermost part. Since the fiber has a cylindrical structure, when a particle impacts different points, the propagation of the resulting Cherenkov photons will differ due to the critical angle.

Table 1. The setup parameters of the Geant4 simulation for a Quartz-core fiber

Simulation Parameters		
1	End of Fiber	With Tyvek Reflector , Without Reflector
2	Length of the Fiber	5 m, 10 m, 20 m, 50 m, 100 m, 200 m, 500 m, 1 km
3	Impact Angle	15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135°, 150°, 165°
4	Impact Point	0 µm, 50 µm, 100 µm, 150 µm, 200 µm, 250 µm, 300 µm

RESULTS AND DISCUSSION

The Geant4 simulation for the FBP Fiber, as presented in Table 1, was conducted using varied values of four distinct parameters. Using the Geant4 Particle Generator, electrons with an energy of 10 GeV are directed towards the fiber. Upon impacting the fiber, these electrons produce Cherenkov photons,

which then propagate towards both ends of the fiber. Efficiency values are determined by taking the ratio of the number of Cherenkov photons produced within the fiber to the number of photons that reach and reflect from its ends. These values are crucial for understanding the quantity of photons that successfully propagate within the fiber. Our goal is to

understand the mechanism through which the fiber produces Cherenkov photons and transmits them. The results of this study will ensure more efficient utilization of FBP fibers in detector designs.

In detector systems, charged particles can impact any point on the fiber at any given impact angle. Figure 7 shows the distribution of the number of photons produced inside the fiber by particles impacting at 7 different points, based on their impact angles. The impact points are illustrated in Figure 6. Cross-sectional view of a three-layered Quartz-core fiber is illustrated in the figure. Within the Geant4 simulation space, a particle is configured to impact seven different points on the fiber. Tests were conducted by increasing the distance by 50 micrometers from the center of the fiber outward at each step. According to the simulation results, the highest photon production occurs at the center, and the number of photons decreases as we move outward from the center. The fewest photons were measured at the core boundary of the fiber, which is 300 micrometers. The maximum photon production for all impact points is observed at 15° and 165°. This value decreases from 15° to 90° and then increases again from 90° to 165°. The reason for this is that charged particles travel a longer distance inside the fiber at 15° and 165°. The longer a charged particle travels within the core of the fiber, the more Cherenkov photons it will produce.

Since one end of the fiber is inside the detector systems, it can be used with an open, closed, or reflective coating. When charged particles pass through the fiber, the Cherenkov photons produced move within the fiber in both directions. The Cherenkov photons produced inside the fiber, upon reaching the open end, either reflect back depending on the medium's refractive index or exit from the open end into the detector's environment. By applying a reflective coating in front of the fiber's open end, a large portion of the photons can be made to reflect back into the fiber, directed towards the photodetector. When using a reflector, if the impact angle ranges between 0° and 90°, then, due to the Cherenkov angle (as illustrated in Figure 4), the Cherenkov photons will reflect back into the fiber from the open end. Figure 8 shows the effective values of photons that reflect back into the fiber from the open end for simulations both with and without a reflector. In this graph, it is observed that the simulations using a reflector reach a maximum photon count when the impact angle is between 0° and 90°. However, in systems without a reflector, more photons leak from the open end, indicating photon loss in the system. The Cherenkov photons moving in the direction of the photodetector follow a similar trajectory.

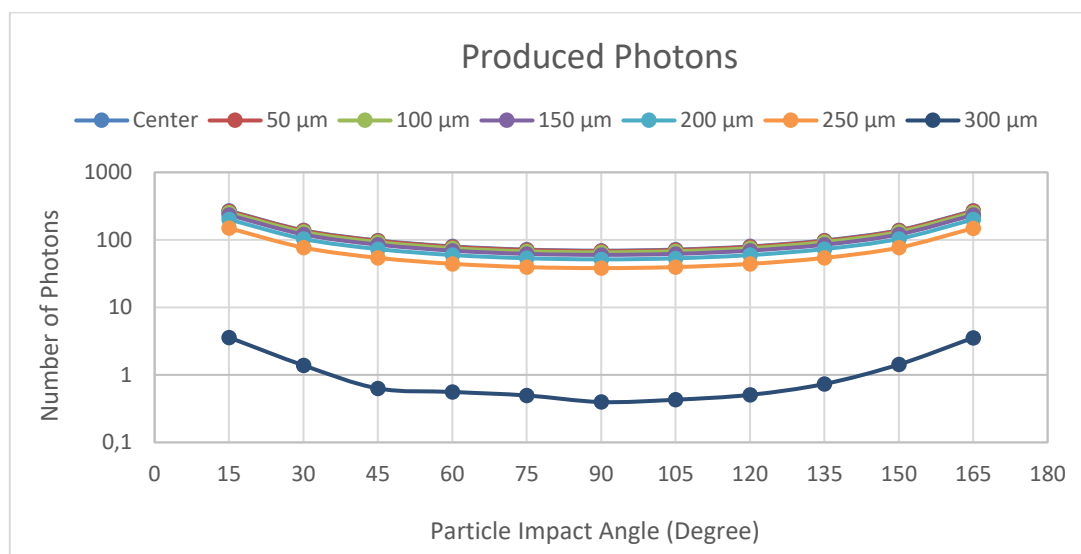


Figure 7. Number of photons plotted as a function of the particle's impact angle on the fiber, as seen in Figure 5. The graph shows simulation results for 7 different impact points on the fiber, as illustrated in Figure 6

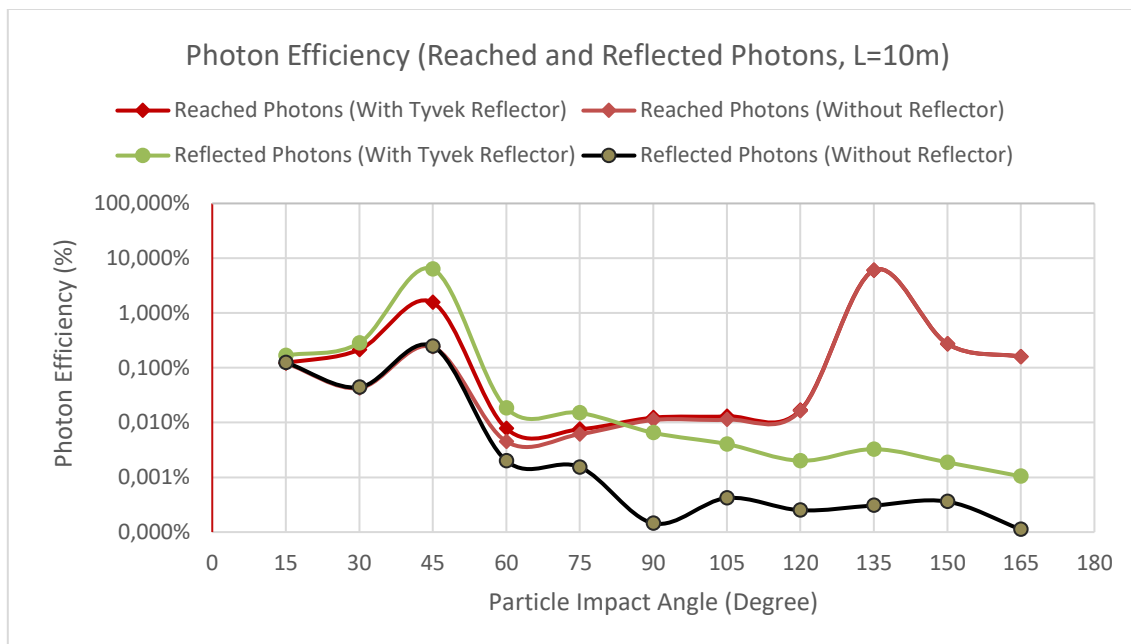


Figure 8. Distribution of Cherenkov photons generated within the fiber based on their impact angles for four different scenarios and their ratios (Photon Efficiency) reaching the photodetector and reflecting from the open end. The red and gray curves represent the photons that impact the photodetector and those reflecting from the open end within the fiber, respectively, when a reflector is used. Conversely, the orange and black curves represent the photons that impact the photodetector and those reflecting, respectively, in cases where no reflector is used

Since one end of the fiber is inside the detector systems, it can be used with an open, closed, or reflective coating. When charged particles pass through the fiber, the Cherenkov photons produced move within the fiber in both directions. The Cherenkov photons produced inside the fiber, upon reaching the open end, either reflect back depending on the medium's refractive index or exit from the open end into the detector's environment. By applying a reflective coating in front of the fiber's open end, a large portion of the photons can be made to reflect back into the fiber, directed towards the photodetector. When using a reflector, if the impact angle ranges between 0° and 90°, then, due to the Cherenkov angle (as illustrated in Figure 4), the Cherenkov photons will reflect back into the fiber from the open end. Figure 8 shows the effective values of photons that reflect back into the fiber from the open end for simulations both with and without a reflector. In this graph, it is observed that the simulations using a reflector reach a maximum photon count when the impact angle is between 0° and 90°. However, in systems without a reflector, more photons leak from the open end, indicating photon

loss in the system. The Cherenkov photons moving in the direction of the photodetector follow a similar trajectory. It is evident that across all impact angles, systems using a reflector capture more photons inside the fiber compared to those without, directing them to the photodetector.

The distributions of efficiency values of photons reaching the photodetector based on their impact angles are illustrated in Figure 9 and Figure 10. In both figures, a charged particle impacting the fiber from 7 different points has been considered. It is observed that the number of photons reaching the photodetector increases around 45° for a fiber whose open end is coated with a reflector. This value has risen by over 1% around 45° for all impact points. Another noteworthy observation in these graphs is that, in the range where the impact angle is between 60° and 120°, as we move further from the center of the fiber outward, the efficiency increases. The reason for this is that, even if the charged particle travels a shorter distance inside the fiber, due to the cylindrical structure of the fiber, Cherenkov radiation can produce photons that exceed the critical angle, thereby directing more photons to the photodetector.

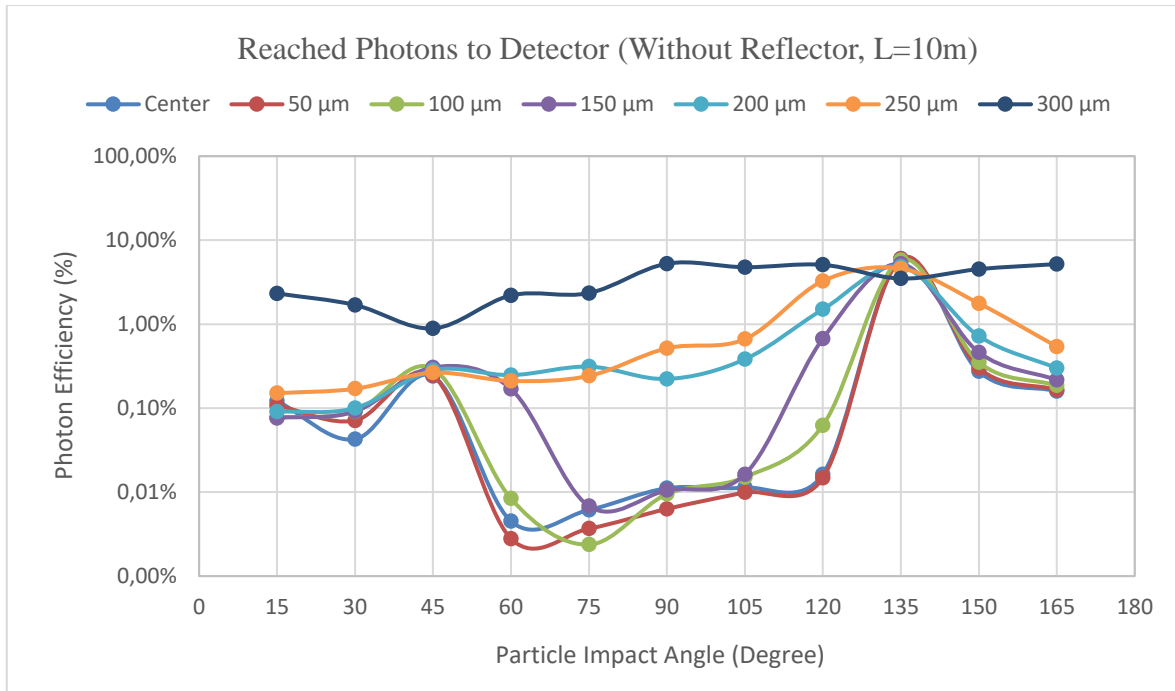


Figure 9. Distribution of the ratios of Cherenkov photons generated inside the fiber to the photons reaching the photodetector (Photon Efficiency) based on their impact angles, for a charged particle impacting 7 different points on the fiber without a reflector, as seen in Figure 6

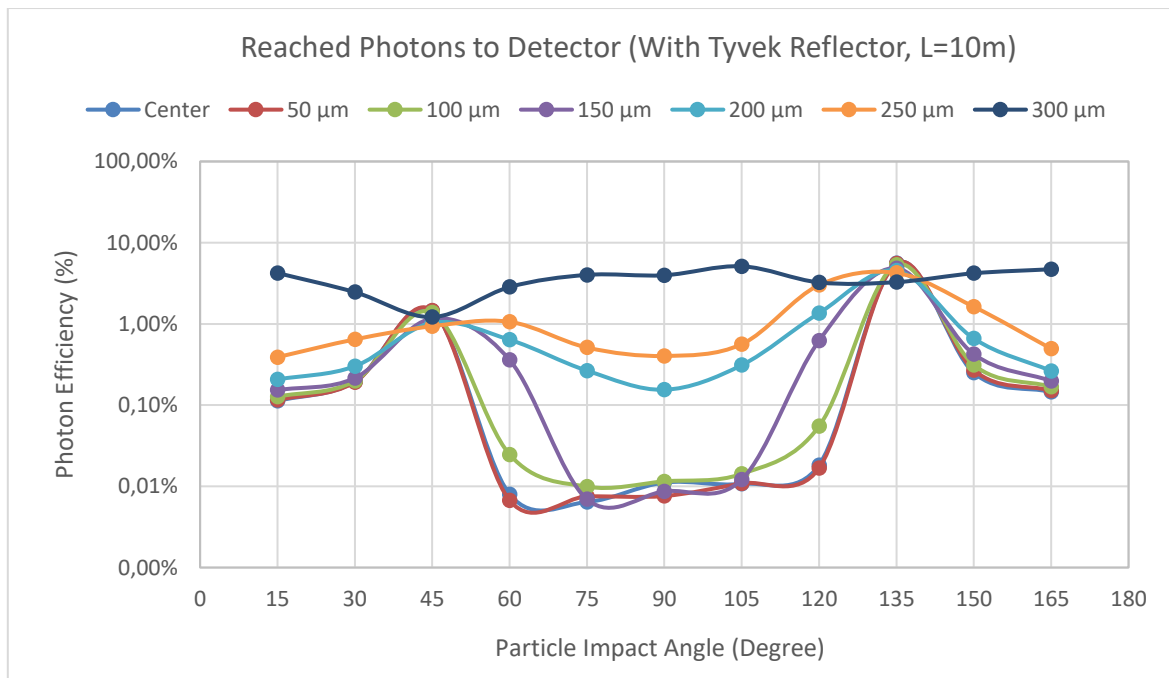


Figure 10. Distribution of the ratios of Cherenkov photons generated inside the fiber to the photons reaching the photodetector (Photon Efficiency) based on their impact angles when a charged particle impacts 7 different points on the fiber, as illustrated in Figure 6, with a reflector in use

The distributions of efficiency values of photons reaching the photodetector based on their impact angles are illustrated in Figure 9 and Figure 10. In both figures, a charged particle impacting the fiber from 7 different points has been considered. It is observed that the number of photons reaching the photodetector increases around 45° for a fiber whose open end is coated with a reflector. This value has risen by over 1% around 45° for all impact points. Another noteworthy observation in these graphs is that, in the range where the impact angle is between 60° and 120°, as we move further from the center of the fiber outward, the efficiency increases. The reason for this is that, even if the charged particle travels a shorter distance inside the fiber, due to the cylindrical structure of the fiber, Cherenkov radiation can produce photons that exceed the critical angle, thereby directing more photons to the photodetector.

Figure 11 shows the changes in the efficiency values of photons reaching the photodetector for 8

different lengths of the fiber based on their impact angles. Since the wavelength graph corresponding to the attenuation provided in Figure 3 has been integrated into the Geant4 simulation, the geant4 simulation calculates how far the photons can travel within the fiber. This study is primarily based on the experimental data of the attenuation values (Figure 3) provided by the fiber manufacturer[8]. As shown in Figure 11 and Figure 12, in a system using reflectors, more photons reach the photodetector at a 45° impact angle compared to a system without reflectors. At 135°, that is, the angle at which the photons move toward the photodetector inside the fiber, the transmission of photons to the photodetector has decreased in both cases with and without reflectors as the length increases. The number of photons produced that reach the photodetector has fallen below 5% when a fiber longer than 20 meters is used. When fibers longer than 500 meters are used, these values have dropped below 1%.

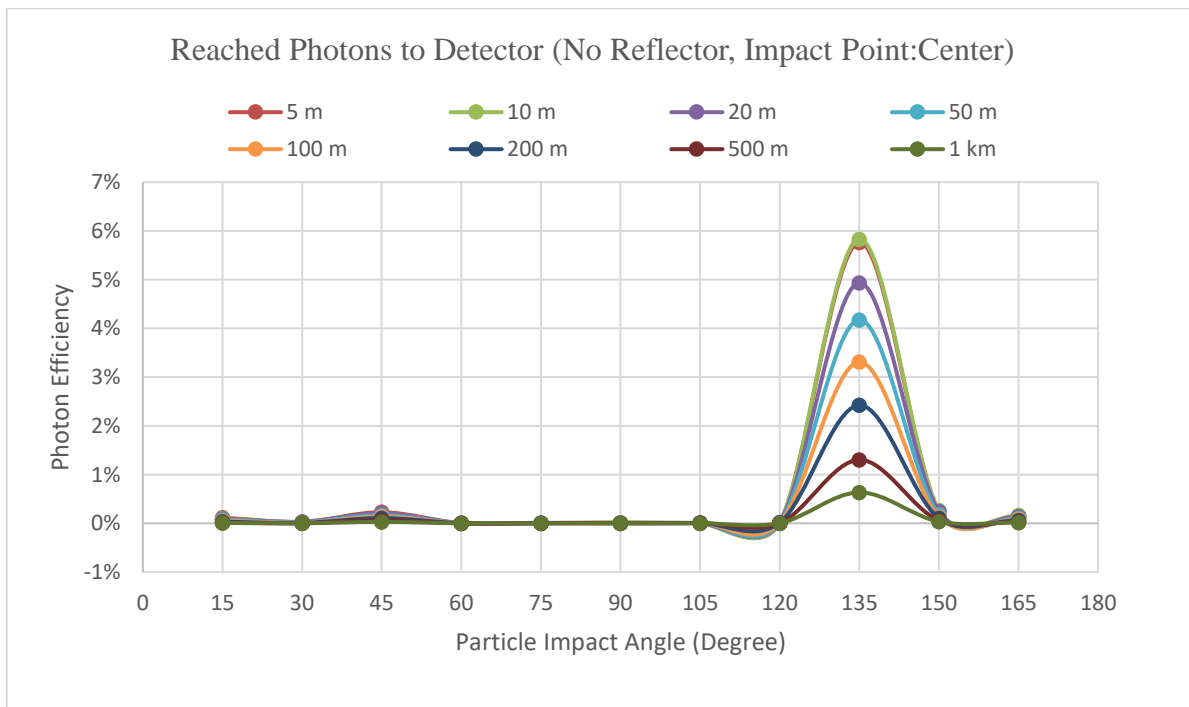


Figure 11. When a charged particle passes through the fiber with a reflector in use for 8 different fiber lengths, the figure presents the distribution of the ratios of Cherenkov photons generated inside the fiber to the photons reaching the photodetector (Photon Efficiency) based on their impact angles without a reflector in use

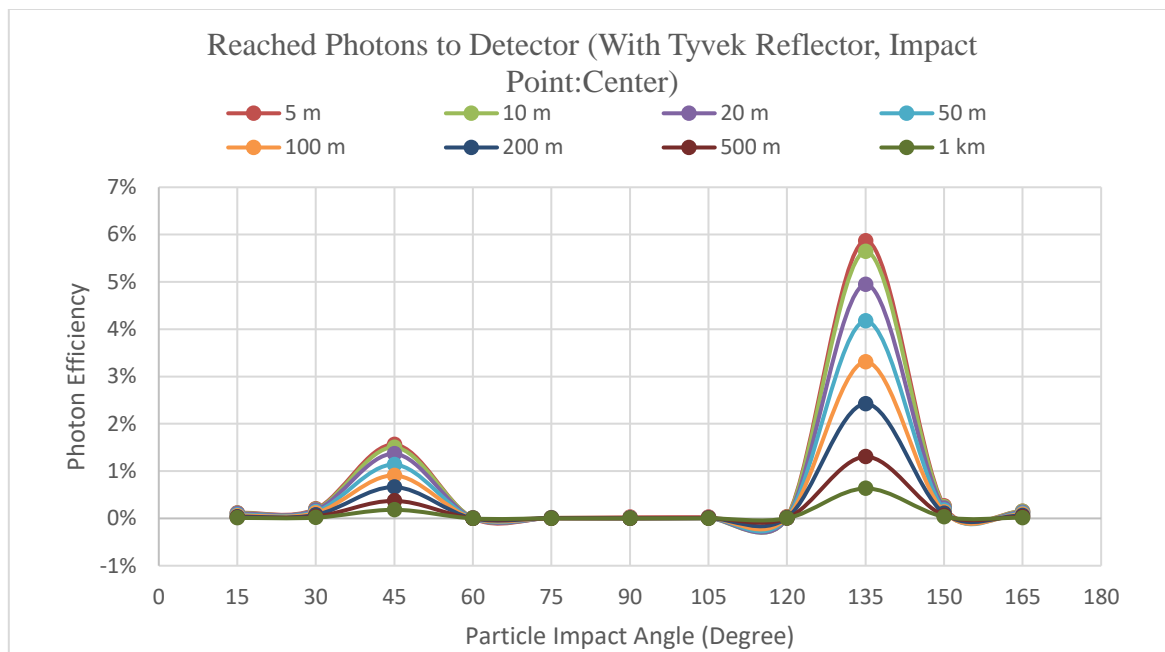


Figure 12. When a charged particle passes through the fiber with a reflector in use for 8 different fiber lengths, the figure presents the distribution of the ratios of Cherenkov photons generated inside the fiber to the photons reaching the photodetector (Photon Efficiency) based on their impact angles with a Tyvek reflector in use

CONCLUSION

In this study, the ability of the Molex FBP (FBP600660710) fiber representing Quartz core fibers to produce and transmit Cherenkov photons was tested in the Geant4 Simulation environment. Quartz core fibers, frequently used in scientific research and development areas such as high-energy physics and nuclear physics, can detect charged particles with Cherenkov photons. Simulation tests were conducted with one end of the open-ended fiber integrated into the photodetector, and the other end either left open or coated with a reflector. According to the simulation results, Cherenkov photons produced within the quartz core fiber reach the photodetector with the highest efficiency at 135°. The open end, whether a reflector is used or not, has caused some of the photons to remain captured within the fiber, and photons have reached the photodetector at impact angles of around 45°. Using a reflector also increased the number of photons reaching the photodetector at impact angles of around 45°. Charged particles pass through the fiber not only at different angles but also at different points of the fiber. Charged particles impacting the center of the fiber produce the most photons, and this value decreases as the impact point moves toward the outer

coating of the fiber. One of the most crucial factors affecting the photon transmission of the fiber is the length of the used fiber. Up to a length of 20 meters, the fiber can transmit 5% of the Cherenkov photons produced within it, but as this length increases, the transmission will drop below 5%. This study shows that the fibers to be used in detector designs should be placed within the detector at specific angles and positions. The significance of the environment in which the fiber is located for the open ends of the fiber was also determined in this study.

ACKNOWLEDGMENT

This study, which is part of Orhan AYDILEK's doctoral thesis, was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBİTAK) Project Number: 119N425.

CONFLICT OF INTEREST

The Authors report no conflict of interest relevant to this article.

RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The authors declare that this study complies with research and publication ethics.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1375196

REFERENCES

- Agostinelli, S. et al. (2003). GEANT4—a simulation toolkit. *Nucl. Instrum. Meth. A*, 506, 250–303.
- Bahaa, E. A. S. ve Malvin, C. T. (1991). Fundamentals of photonics, *Fiber optics*, 272–309.
- Béjar Alonso, I., Brüning, O., Fessia, P. ve Lamont, M. (2020). High-luminosity large hadron collider (HL-LHC) technical design report. CERN Yellow Reports: Monographs. CERN-2020-010, 378.
- Cankocak, K., Bakırcı, N.M., Cerci, S. et al. (2008). Radiation-hardness measurements of high OH-content quartz fibres irradiated with 24 GeV protons up to 1.25 Grad. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 585, 1-2.
- Chen, W., Hu, L., Zhong, G. et al. (2022). Optimization study and design of scintillating fiber detector for D-T neutron measurements on EAST with Geant4. *Nuclear Science and Techniques*, 33, 139.
- Cherenkova, E. P. (2008). The discovery of the Cherenkov radiation. *Nucl. Instrum. Meth. A*, 595, 8–11.
- Geant4 Collaboration. (2023, October 10). Geant4 webpage.
- Geant4 Collaboration. (2023, October 10). Geant4 book for application developers.
- Girard, S. et al. (2019). Overview of radiation induced point defects in silica-based optical fibers. *Reviews in Physics*, 4, 100032.
- Hagopian, V. (1999). Radiation damage of quartz fibers. *Nuclear Physics B*, 78(1), 635–638.
- Jelley, J. V. (1955). Cherenkov radiation and its applications. *British Journal of Applied Physics*, 6(7), 227.
- Kharzheev, Yu. N. (2019). Radiation hardness of scintillation detectors based on organic plastic scintillators and optical fibers. *Physics of Particles and Nuclei*, 50, 42–76.
- Malitson, I. H. (1965). Interspecimen comparison of the refractive index of fused silica. *Optica Publishing Group*, 55(10), 1205–1209.
- Polymicro Molex. (2023). FBP fiber technical document.
- Selivanova, D. A. et al. (2020). Geant4 quartz fiber simulations as part of luminometer development for CMS. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 1690, 012047
- Sunar Cerci, D. et al. (2023). Geant4 study for geometry of quartz fiber luminometer at CMS HL-LHC. *Phys.Part.Nucl.*, 54(4), 725-728.
- Thomas, R. D. (2024). Study of radiation hardness of optical fibers. Phd Thesis, Texas Technical University, Texas, USA.
- Wandel, M. (2005). Attenuation in silica-based optical fibers. Phd Thesis, Technical University of Denmark, Denmark.
- Wolfenden, J. et al. (2023). Cherenkov radiation in optical fibres as a versatile machine protection system in particle accelerators. *Sensors*, 23(4), 4.

Investigation of Thermal, Microstructure and Shape Memory Behavior of PLA-PEG-PHA Ternary Polymer Blends

Ecem Özen Öner

Firat University, Faculty of Science, Department of Physics, Elazığ, Türkiye

e.ozenoner@firat.edu.tr 

Received date: 16.10.2023, Accepted date: 07.12.2023

Abstract

Instead of blending two polymers to make a blend, a "ternary polymer blend" is typically created by adding a third polymer. In recent years, triple polymer blends have found a wide field of study in order to improve and change the properties of traditionally obtained binary blends. In this study, a blend was created by adding Polyhydroxy Alkanoate (PHA) polymer to Polylactic Acid (PLA) and Polyethylene Glycol (PEG) polymers, which are known to be compatible with each other. The aim of this study is to examine the effect of changing PHA amount on the blend of the triple shape memory alloy. The thermal properties, shape memory and scanning electron microscope (SEM) images of this blending were examined. It was investigated which of the samples prepared with three different percentages would give the most ideal results. Although the thermal analysis results are generally close to each other, differences were observed in the shape memory of the material due to the change in the amount. In particular, it can be said that the decrease in the percentage of Polyhydroxy Alkanoate (PHA) polymer, which has binding properties, causes a delay in shape transformation.

Keywords: Ternary polymer blends, shape memory polymers, polylactic acid, polyethylene glycol, polyhydroxy alkanate

PLA-PEG-PHA Üçlü Polimer Karışımlarının Termal, Mikroyapı and Şekil Hafıza Davranışlarının İncelenmesi

Öz

Bir karışım oluşturmak için iki polimeri karıştırmak yerine, tipik olarak üçüncü bir polimer eklenerek "üçlü bir polimer karışımı" oluşturulur. Geleneksel olarak elde edilen ikili karışımların özelliklerinin iyileştirilmesi and değiştirilmesi amacıyla son yıllarda üçlü polimer karışımları geniş bir çalışma alanı bulmuştur. Bu çalışmada birbiriyle uyumlu olduğu bilinen Polilaktik Asit (PLA) and Polietilen Glikol (PEG) polimerlerine Polihidroksi Alkanoat (PHA) polimeri eklenerek bir karışım oluşturulmuştur. Bu çalışmayı yaparken üçlü şekil hatırlamalı alaşımın, değişen PHA miktarının blend üzerindeki etkisini incelemektir. Bu karışımın termal özellikleri, şekil hafızası and taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri incelenmiştir. Üç farklı yüzdeyle hazırlanan örneklerden hangisinin en ideal sonucu vereceği araştırıldı. Termal analiz sonuçları genel olarak birbirine yakın olsa da miktar değişikliğine bağlı olarak malzemenin şekil hafızasında farklılıklar gözlemlenmiştir. Özellikle bağlayıcı özelliğe sahip olan Polilaktik Asit (PLA) polimerinin yüzdesindeki azalmanın şekil dönüşümünde gecikmeye neden olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Üçlü polimer karışımları, şekil hafızalı polimerler, polilaktik asit, polietilen glikol, polihidroksi alkanat

INTRODUCTION

It is the process of combining at least two polymers under suitable conditions and obtaining a new material, known as polymer blend. It is desirable to choose one of the polymers as the compatibilizer when obtaining the blend. The most famous polymer blends that have been studied extensively in the last decade are; Polypropylene/Polyamide (PP/PA) is

Polystyrene/Polymethyl Methacrylate (PS/PMMA) and Polypropylene/ Polystyrene (PP/PS). It is available in our previous shape memory polymer blend works (Koulic et al., 2001; Tomic and Marinkovic, 2019; Wang et al., 2011). It is not preferable to combine the blend, which is generally preferred in pairs, and triple or more polymers. The reason for this is that it is thermodynamically

immiscible and the technological difficulty of combining polymers harmoniously. Since the word "polymer blend" refers to the combination of two polymers, the term "ternary polymer blend" is used for triple blends. Although increasing the number of polymers while obtaining the blend causes various complications, it is an area that needs to be studied and developed. It is thought that adding various properties to the traditional polymer blend material and the desire to obtain higher performance products will increase the popularity of such materials (Adedeji et al., 2001; Folkes and Hope, 1993; Macosko et al., 1996; Sperling, 2005).

Debolt and Robertson tried the ternary polymer blend in their study and made complex polymers compatible with each other using compatibilizers. It was investigated whether nylon 66 and styrene-block-ethylene-co-butylene could be harmonized with each other and polypropylene was used as compatibilizer (DeBolt and Robertson, 2006). Sprenger and Walheim explains in their study that when there are three liquid phases, the two most incompatible components completely or partially wet the interface. They stated that by changing the balance of the three liquid-liquid interface energies, the morphology of the intervening fluid should also change. In particular, they expected a significant change in the structure of the polymer blend during wetting (Sprenger et al., 2003). V.N. Kuleznev and Yu. P. Miroshnikov et al. in their study demonstrated that some ternary polymer blends were not miscible based on their phase morphology (Kuleznev and Miroshnikov, 2016).

The aim of this study is to examine the differences in the structure and physical properties of the ternary polymer blend by adding Polyhydroxy Alkanoate (PHA) in different proportions and under appropriate conditions to Polyactic acid (PLA), which has a good shape memory feature, and to Polyethylene Glycol (PEG) blend, which is frequently used in the health sector but is fragile.

MATERIAL AND METHODS

Materials

Polyactic acid (PLA) and Polyhydroxy alkanoat (PHA) was supplied by ABG filament company in Ankara, Turkey. Polyethylene glycol (PEG) with $M_n=6000$ g/mol⁻¹ and anhydrous chloroform (99.9% purity) were purchased from Sigma Aldrich.

Preparation of PLA/PEG/PHA Blend Film By Solvent Casting Method

Polyactic acid, Polyethylene glycol and Polyhydroxy alkanoate were prepared in 1:1:1 ratio in separate magnetic stirrers, each from 0.15 grams to a total of 0.45 grams in chloroform. The ratio of PHA was changed by keeping the ratio of PLA and PEG constant and not changing the total mass. PHA was added in amounts of 0.05 g, 0.15 g and 0.25 g (11%, 33% and 55% in weight). PLA and PEG in 5 mL chloroform were mixed in a separate mixer and PHA was mixed in a separate mixer for 1 hour and then completely homogenized. The homogeneous solutions were combined and stirred for 1 more hour. Then, the solution poured into the petri dish was kept in the etuv at 40 °C for 24 hours.

RESULTS AND DISCUSSION

Thermal results

Differential Scanning Calorimetry (DSC) measurement was performed to examine the thermal properties and melting/crystallization behavior of the blend obtained by mixing PLA-PEG-PHA ternary polymer. DSC results are given in Fig. 1. The glass transition temperature of PLA is around 65 °C, which is supported by both our previous studies and the literature (Özen Öner et al., 2022; Qader et al., 2022; Yilmaz at al., 2023). It is known that the melting temperature of PEG roughly coincides with the glass transition temperature of PLA. When the DSC graph is examined, the reason why the first peak is quite obvious is that the melting temperature of PEG and the glass transition temperature of PLA are almost the same values. The second peak seen in the DSC graph is the melting temperature of PLA (177 °C). As we have confirmed in our previous studies, since the DSC curves are almost the same, they have similar peaks (Matumba, Motloun, Ojijo, Ray and Sadiku, 2023; Sheth, Kumar, Davé, Gross and McCarthy, 1997; Zhang, Wang, Qiao and Li, 2016). Unlike other polymers, PHA has a wide range of melting temperatures. It is known that the melting temperature of PHA is 170 °C, it is almost the same as the melting temperature of PLA, as seen in the graph. According to the DSC measurement results, it was observed that the melting temperatures and crystallization temperatures increased before 50% PHA ratio and also the enthalpy values of the peaks increased. After the PHA ratio exceeded 50%,

melting and crystallization temperatures and enthalpy values were found to decrease.

Thermogravimetric analysis results are given in Figure 2. Thermal degradation of PVC and PEG polymers occurs in two stages. The first decomposition temperature occurs at 275 °C, and the second decomposition temperature occurs at 375 °C. It has been determined that the thermal stability of the polymer composite material decreases slightly depending on the changing PHA amount.

SEM images

SEM images and EDAX results of 11PHA, 33PHA and 55PHA samples are given in Fig. 3, Fig. 4 and Fig. 5, respectively. When the SEM images are examined, it is seen that the porous structure is formed. It is known that the polymer forming the porous structure originates from PEG, and it is seen that PEG causes an increase in chain movement and the formation of voids in the polymer structure. Similar results were obtained in our previous study (Yilmaz et al., 2023). Chen et al. suggested that PEG infiltrates the PLA chains, increasing the particle size. Darabian et al. stated that the hydrogen bond is formed between the carbonyl group in PLA and the hydroxyl group in PEG (Chen et al., 2014). Therefore, PLA and PEG are suitable polymers for blending. The biggest reason for being a suitable polymer is the bond formation between them. Based on our previous studies, it is examined what changes occur in the structure of the polymeric material by keeping the PLA and PEG ratios constant and adding PHA at certain ratios. When the EDAX results are examined, it is seen that carbon and oxygen amounts are encountered. It is known that the content of polymeric structures is based on carbon and oxygen bonds. For this reason, it is expected to be reflected in the EDAX results.

Shape memory effects

Fig. 6 shows the shape memory effect of 11%, 33% and 55% samples of PLA-PEG-PHA ternary polymer blend. The shape memory properties of PLA-PEG-PHA polymer blends prepared with three

different percentages were examined. Shape memory polymers are materials that can change their properties such as shape and color with external factors. To observe the shape memory effect, the glass transition temperature of the polymers is taken into account. Above the glass transition temperature, the material is given a temporary shape and then it is expected to maintain its temporary shape by providing suitable conditions. The polymeric material, which retains its temporary shape, returns to its original shape by rising above the glass transition temperature again. Similar results were obtained as in previous studies (Özen Öner et al., 2022; Pekdemir et al., 2023; Pekdemir, Öner, Kök and Qader, 2021; Pekdemir, Qader, et al., 2021). In this study, it is investigated how PHA, which varies by 11%, 33%, and 55%, will have an effect on the material. In order to make a correct interpretation between the three, comparisons were made at the same time and in the same environment. The materials were cut in the same dimensions and immersed in hot water. Polymers softening in hot water were temporarily formed and then immersed in cold water (below the glass transition temperature). It is observed that the polymeric material, which is observed to retain its temporary shape, returns to its original shape in a short time after being immersed in hot water. If three materials are compared, it is seen that 33% sample is difficult to form. In addition, it can be said that the time to return to its former shape is longer than the others and its structure is more opaque than the others. Since the proportions of the 33% sample are equal, it can be interpreted that the amount of PLA polymer acting as a binder is low. On the contrary, it is seen that the high PHA ratio in the 55% sample neutralizes the low amount of PLA. That is, PEG, which does not have the ability to memory and is fragile. It can be interpreted that the binder of the polymer is PHA.

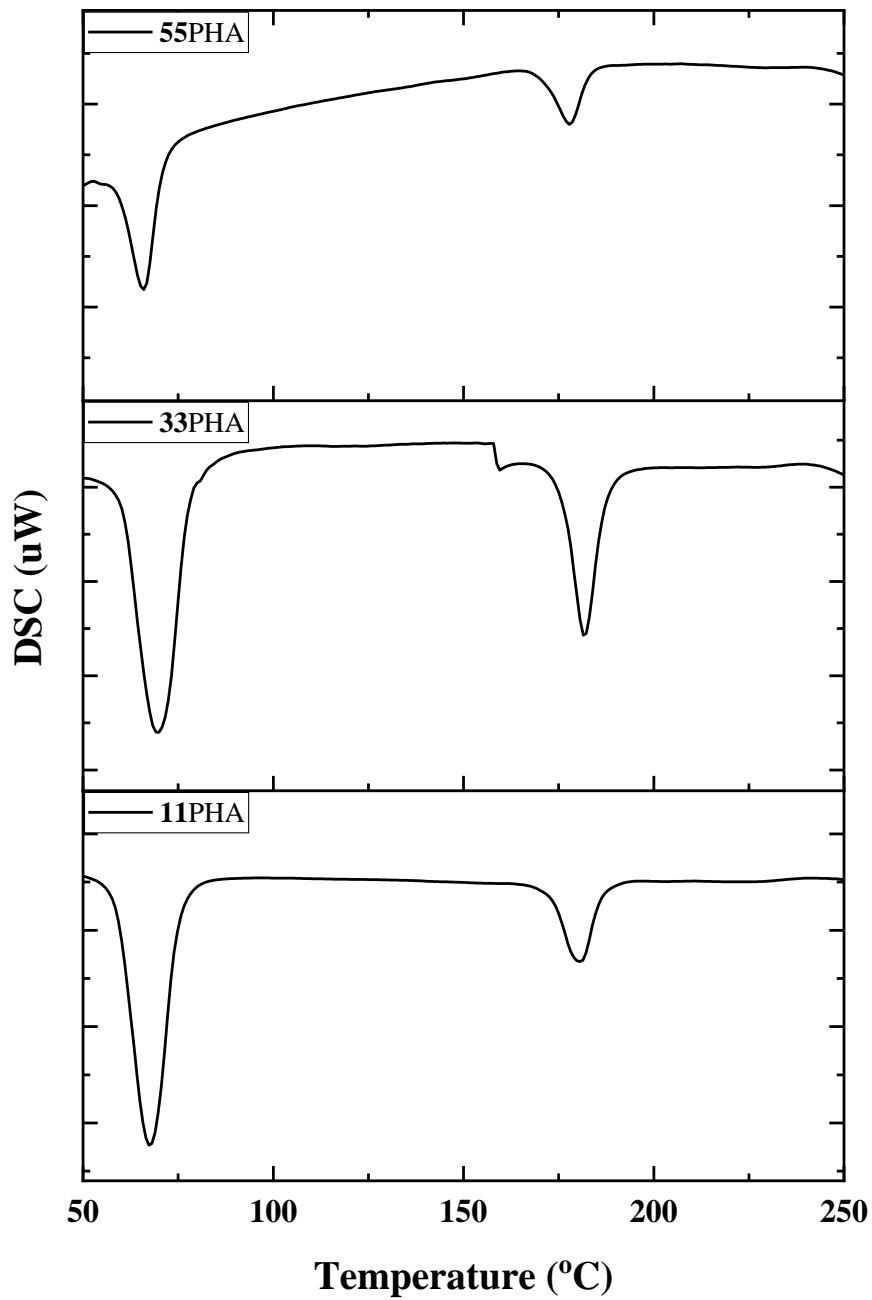


Figure. 1. Differential Scanning Calorimetry (DSC) result of samples

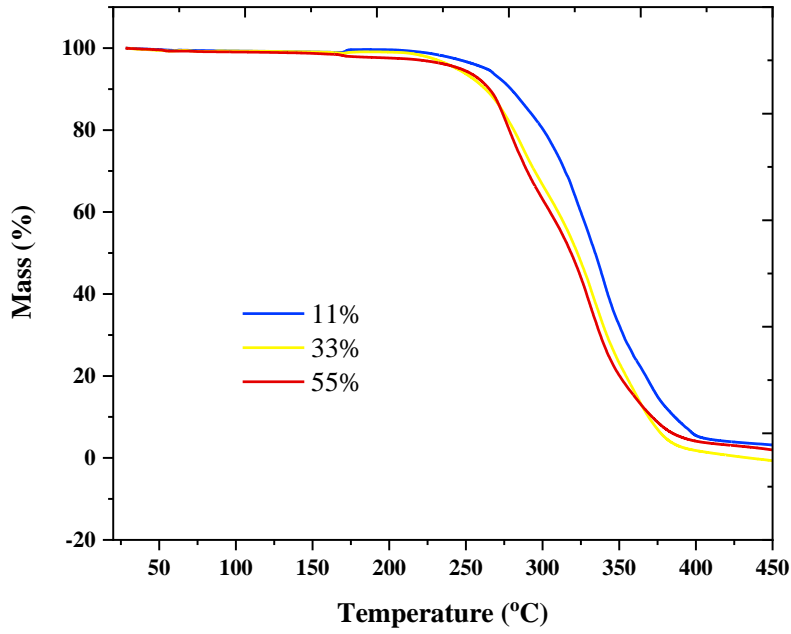


Figure. 2. Thermogravimetric analysis (TGA) result of samples

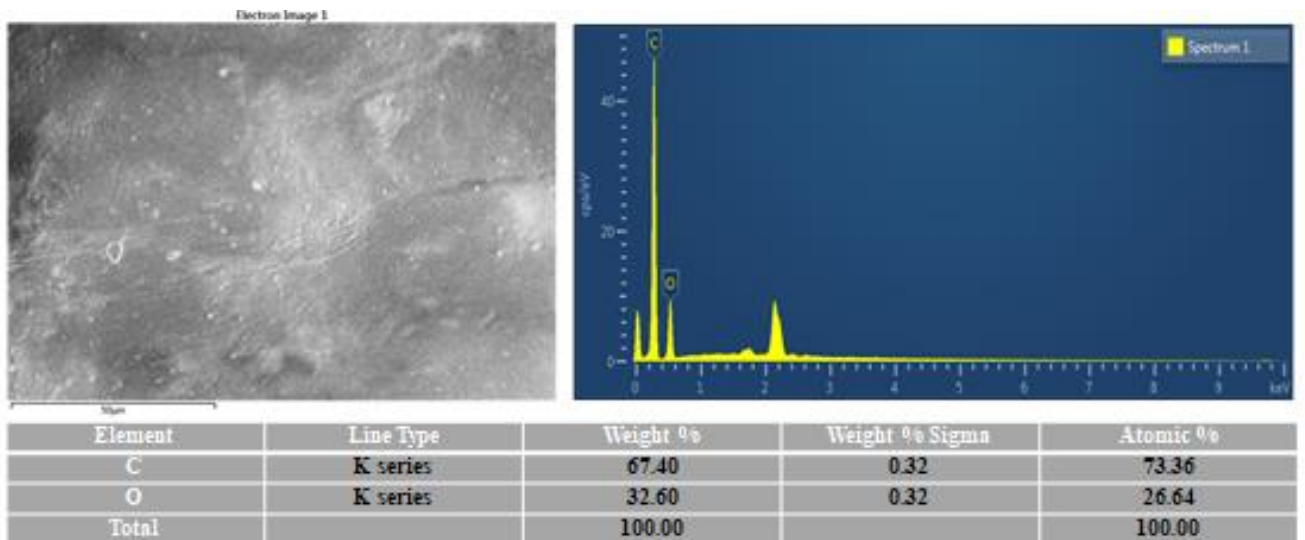


Figure. 3. SEM-EDAX results of 11PHA Sample

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1376645

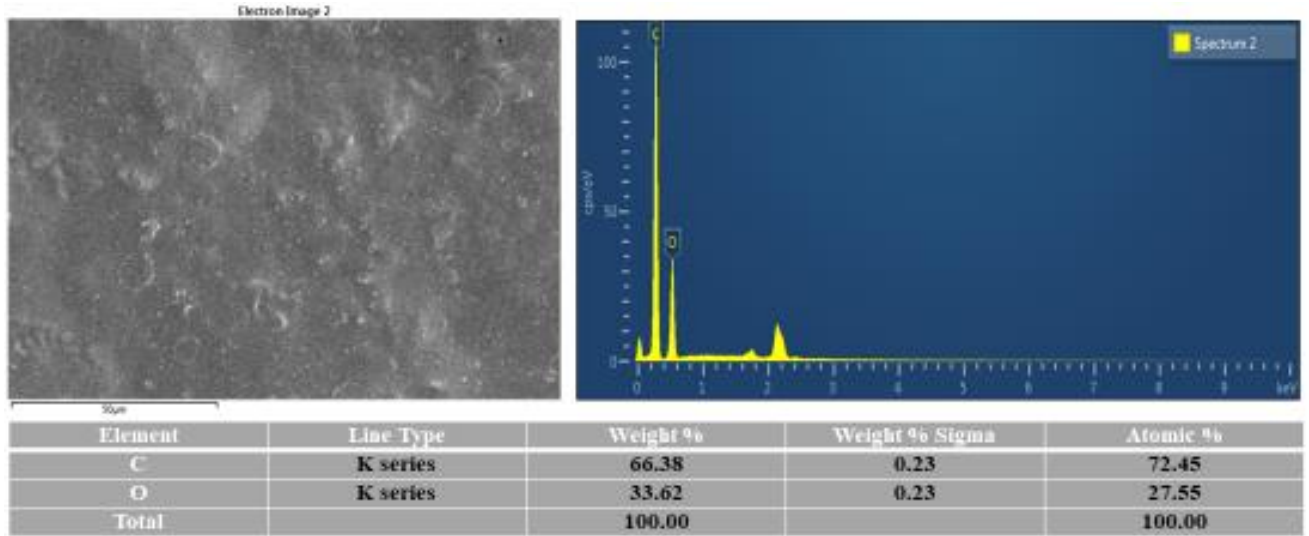


Figure. 4. SEM-EDAX results of 33PHA Sample

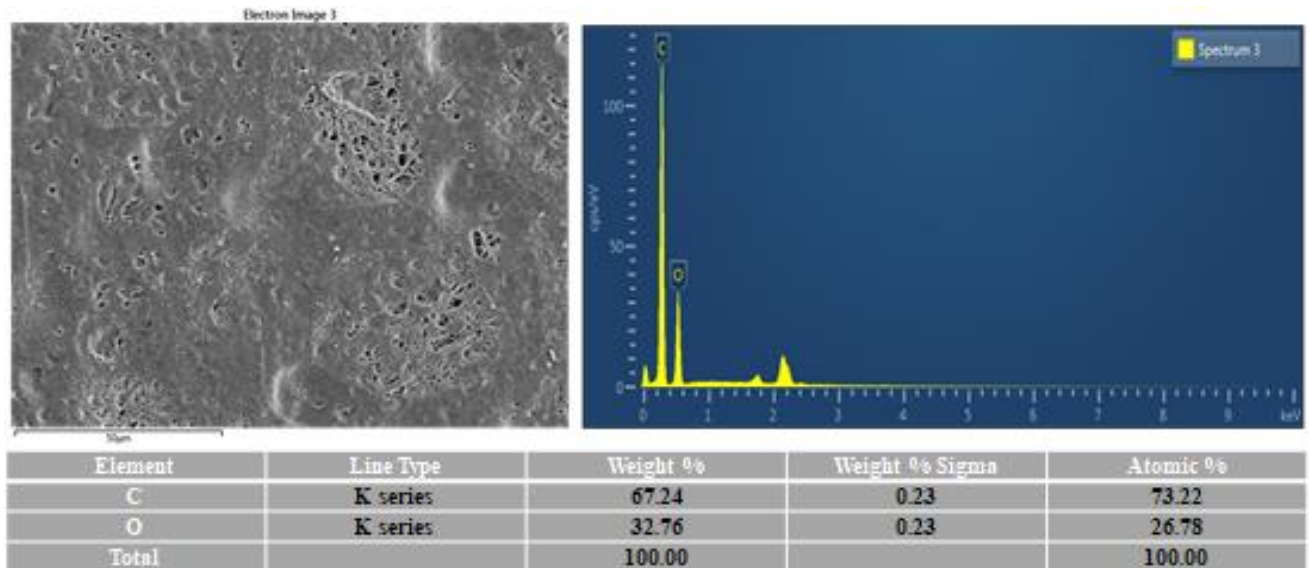


Figure. 5. SEM-EDAX results of 55PHA Sample

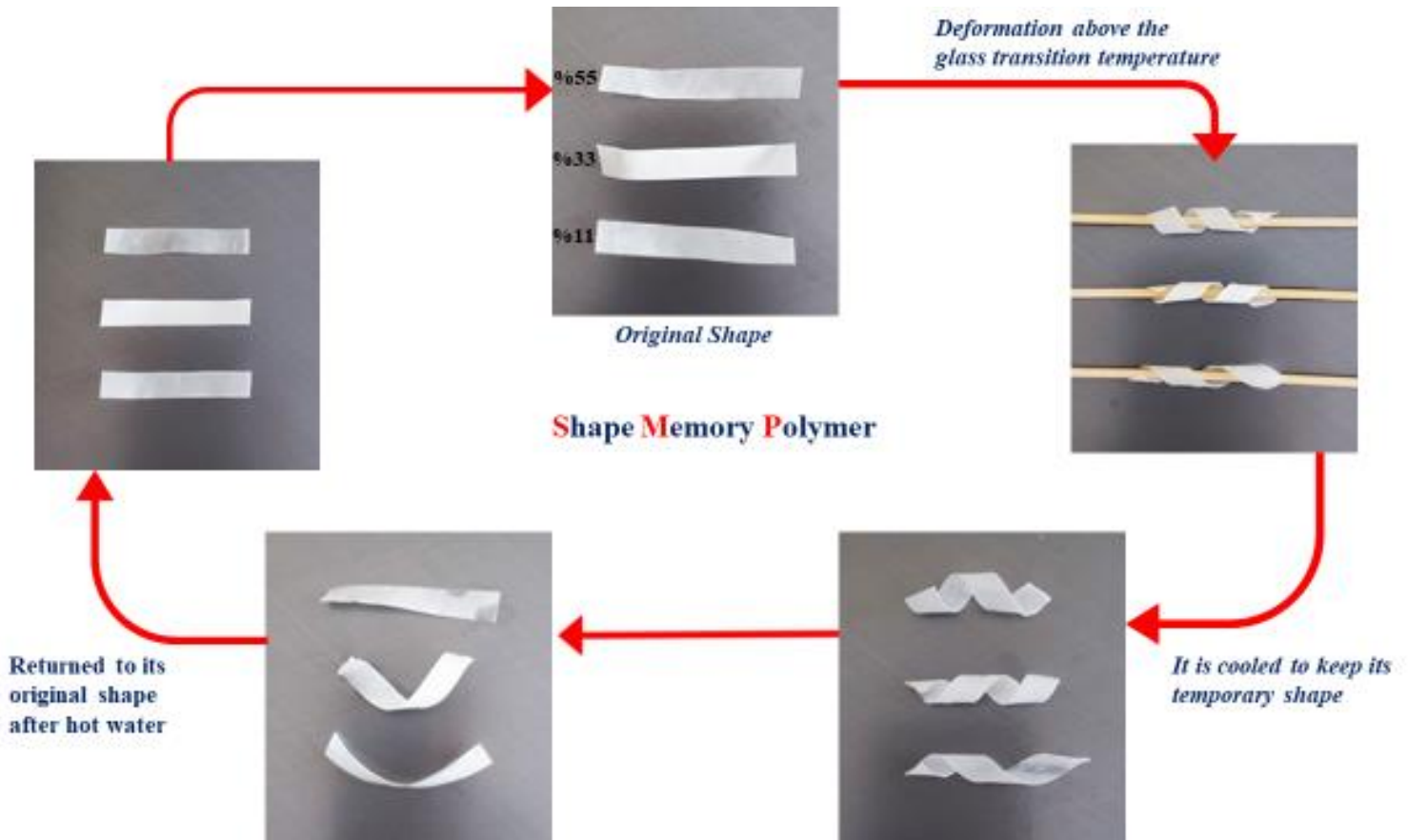


Figure. 6. Shape memory effect behavior of samples

Table.1. Weights of polymers in ternary blends

Sample codes Polymers ↓ →	11 PHA	33 PHA	55 PHA
PLA	0.20	0.15 g	0.10 g
PEG	0.20	0.15 g	0.10 g
PHA	0.05	0.15	0.25 g

CONCLUSION

The aim of the study is to examine the effect of triple polymer blend and shape memory transformation. Different proportions of PHA were added to PLA and PEG polymers, which are known to be compatible with each other. When the thermal analysis results were examined, it was seen that the values were very close to each other. When the TGA

graph was examined, it was observed that thermal stability decreased slightly as the PHA ratio increased. The fact that the melting temperatures of PHA and PLA are very close, caused the peak to be intertwined. When SEM images were examined, it was supported by literature data that the porous structure originated from PEG. This feature of the samples with shape memory feature was examined.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1376645

PLA is known to be a good shape memory polymer. Due to the fact that PEG has a more fragile structure, a very good shape memory effect was observed in the samples with a high percentage of PLA. It was determined that the duration of the shape memory effect was prolonged in the 33% sample with equal proportions compared to the others.

ACKNOWLEDGMENT

The author would like to thank the financial support provided by the Management Unit of the Scientific Research Projects of Firat University (FUBAP) (ADEP.23.02).

CONFLICT OF INTEREST

The Author reports no conflict of interest relevant to this article.

RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The author declares that this study complies with research and publication ethics.

REFERENCES

- Adedeji, A., Lyu, S. and Macosko, C. W. (2001). Block copolymers in homopolymer blends: Interface vs micelles. *Macromolecules*, 34(25), 8663-8668.
- Chen, B. Y., Wang, Y. S., Mi, H. Y., Yu, P., Kuang, T. R., Peng, X. F. and Wen, J. S. (2014). Effect of poly (ethylene glycol) on the properties and foaming behavior of macroporous poly (lactic acid)/sodium chloride scaffold. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(23).
- DeBolt, M. A. and Robertson, R. E. (2006). Morphology of compatibilized ternary blends of polypropylene, nylon 66, and polystyrene. *Polymer Engineering and Science*, 46(4), 385-398.
- Folkes, M. and Hope, P. (1993). *Polymer blends and alloys*: Springer.
- Koulic, C., Yin, Z., Pagnouille, C., Gilbert, B. and Jérôme, R. (2001). Premade versus in situ formed compatibilizer at the PS/PMMA interface: contribution of the Raman confocal microscopy to the fracture analysis. *Polymer*, 42(7), 2947-2957.
- Kuleznev, V. and Miroshnikov, Y. P. (2016). Phase morphology and properties of ternary polymer blends. *Encyclopedia of Polymer Blends: Volume 3: Structure*, 335-400.
- Macosko, C., Guegan, P., Khandpur, A. K., Nakayama, A., Marechal, P. and Inoue, T. (1996). Compatibilizers for melt blending: Premade block copolymers. *Macromolecules*, 29(17), 5590-5598.
- Matumba, K. I., Motloun, M. P., Ojijo, V., Ray, S. S. and Sadiku, E. R. (2023). Investigation of the Effects of Chain Extender on Material Properties of PLA/PCL and PLA/PEG Blends: Comparative Study between Polycaprolactone and Polyethylene Glycol. *Polymers*, 15(9), 2230.
- Özen Öner, E., Pekdemir, M. E., Ercan, E., Say, Y., Kök, M. and Aydoğdu, Y. (2022). Novel of (PLA/PCL blend)/Gd₂O₃ rare earth oxide nanocomposites: Shape memory effect, thermal, magnetic, and mechanical properties. *Polymer Composites*, 43(5), 3096-3103.
- Pekdemir, M. E., Kök, M., Kanca, M. S., Özen Öner, E., Pekdemir, S., Inci, Ş., Tatar, B. (2023). B₂O₃ reinforced polylactic acid/thermoplastic polyethylene glycol shape memory composites. *Polymers for Advanced Technologies*, 34(2), 605-612.
- Pekdemir, M. E., Öner, E., Kök, M. and Qader, I. N. (2021). Thermal behavior and shape memory properties of PCL blends film with PVC and PMMA polymers. *Iranian Polymer Journal*, 30, 633-641.
- Pekdemir, M. E., Qader, I. N., Öner, E., Aydoğmuş, E., Kök, M. and Dağdelen, F. (2021). Investigation of structure, mechanical, and shape memory behavior of thermally activated poly (ε-caprolactone): azide-functionalized poly (vinyl chloride) binary polymer blend films. *The European Physical Journal Plus*, 136, 1-14.
- Qader, I. N., Pekdemir, M. E., Coşkun, M., Kanca, M. S., Kök, M. and Dağdelen, F. (2022). Biocompatible PLA/PCL blends nanocomposites doped with nanographite: Physico-chemical, and thermal behaviour. *Journal of Polymer Research*, 29(7), 264.
- Sheth, M., Kumar, R. A., Davé, V., Gross, R. A. and McCarthy, S. P. (1997). Biodegradable polymer blends of poly (lactic acid) and poly (ethylene glycol). *Journal of Applied Polymer Science*, 66(8), 1495-1505.
- Sperling, L. H. (2005). *Introduction to physical polymer science*: John Wiley and Sons.
- Sprenger, M., Walheim, S., Budkowski, A. and Steiner, U. (2003). Hierarchic structure formation in binary and ternary polymer blends. *Interface Science*, 11(2), 225-235.
- Tomic, N. s. Z. and Marinkovic, A. D. (2019). Compatibilization of Polymer Blends by the Addition of Graft Copolymers. *Compatibilization of Polymer Blends: Micro and Nano Scale Phase Morphologies, Interphase Characterization, and Properties*, 103.
- Wang, D., Li, Y., Xie, X.-M. and Guo, B.-H. (2011). Compatibilization and morphology development of immiscible ternary polymer blends. *Polymer*, 52(1), 191-200.
- Yilmaz, M., Pekdemir, M. E. and Öner, E. Ö. (2023). Evaluation of Pb doped Poly (lactic acid)(PLA)/Poly (ethylene glycol)(PEG) blend composites regarding


Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1376645

physicochemical and radiation shielding properties.
Radiation Physics and Chemistry, 202, 110509.

Zhang, J., Wang, S., Qiao, Y. and Li, Q. (2016). Effect of morphology designing on the structure and properties of PLA/PEG/ABS blends. Colloid and Polymer Science, 294, 1779-1787.

Ultra-Slow-roll Inflation Dynamics in $f(R, \phi, X)$ Gravity

Ali İhsan Keskin

Batman University, Besiri OSB Vocational School, Department of Electrical and Energy, Batman, Türkiye
 aliihsan.keskin@batman.edu.tr 

Received date:26.10.2023, Accepted date: 21.11.2023

Abstract

In this study, we apply the ultra-slow-roll condition to a model containing mixed terms in the background of $f(R, \phi, X)$ gravity. After the field equations are setting according to the model considered, the slow-roll indices of the inflation field are calculated. It is observed that the ultra-slow-roll inflation field comes to the fore for this case where the phenomenological mixed term is dominant. The inflation observables (the spectral index parameter and the tensor-to-scalar ratio) that occur in the background of gravity in the high-energy era of the universe are calculated, and we determine that the results are in agreement with Planck 2018 data.

Keywords: $f(R, \phi, X)$ gravity, scalar field, ultra-slow-roll inflation, high energy, cosmology

$f(R, \phi, X)$ Kütleçekiminde Ultra Yavaş Dönüşlü Enflasyon Dinamikleri

Öz

Bu çalışmada $f(R, \phi, X)$ yerçekiminin arka planında karışık terimler içeren bir modele ultra yavaş yuvarlanma koşulunu uyguladık. Ele alınan modele göre alan denklemleri oluşturulduktan sonra enflasyon alanının yavaş yuvarlanma endeksleri hesaplandı. Fenomenolojik karma terimin hâkim olduğu bu durumda ultra-yavaş yuvarlanma enflasyon alanının ön plana çıktığı görülmektedir. Evrenin yüksek enerji çağında yerçekiminin arka planında meydana gelen enflasyon gözlemlenebilirleri (spektral indeks parametresi ve tensör/skaler oranı) hesaplandı ve sonuçların Planck 2018 verileriyle uyumlu olduğunu tespit ettik.

Anahtar Kelimeler: $f(R, \phi, X)$ kütleçekim, skaler alan, ultra-yavaş dönme enflasyonu, yüksek enerji, kozmoloji

INTRODUCTION

Despite its enormous success, the typical Big Bang cosmology in General Relativity (GR) has certain well-known problems, like the horizon problem and the flatness problem (Guth 1981; Linde 1982) Adding an accelerating expansion phase in the early stage of cosmic development, before the start of the standard big bang cosmology, is one promising solution to these problems (Bardeen, 1983; Linde 1983). The mechanism to seed the current large-scale structure of the universe and the correctly measured anisotropy in the cosmic microwave background is also provided by the early accelerating expansion, called inflation (Guth 1981; Linde 1982; Linde 1983). The single-field slow-roll models are the most straightforward of all the inflationary models, and research into them is still ongoing (Chowdhury et. al. 2019).

The tensor-to-scalar ratio $\sim r$, one of the inflationary observables, is severely constrained by

the recently revealed BICEP/Keck data (Ade et al., 2021) and Planck 2018 observations (Akrami et al. 2020). Several single-field inflationary models, like chaotic inflation and the original version of natural inflation, are already ruled out by the severely limited. In reality, a workable inflationary model must not only predict a tiny enough tensor-to-scalar ratio but also produce enough e-folds to fit within empirical limitations.

In this study, in high energy era of the universe, we applied the ultra-slow-roll condition to a model containing mixed terms in the background of gravity $f(R, \phi, X)$ (Odintsov and Oikonomou, 2019; Hwang and Noh, 2005; Tsujikawa, 2007; Keskin 2018; Korunur, 2016; Bahamonde et al., 2015; Yerzhanov et al., 2021; Wu, 2021; Kaczmarek and Szczesniak, 2020; Salti et al., 2016). We found that the inflation observables that occur in the background of gravity in the high energy era of the universe with an

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1381836

exponential scalar potential are in agreement with Planck 2018 data.

In the second title, the field equations of the $f(R, \phi, X)$ gravity theory and the inflationary parameters (the spectral index parameter and tensor-to-scalar ratio parameters) related to the gravity theory are given. In the third title, the calculations of the observation parameters in the ultra-slow-roll field are made within the framework of the model, where the results are compared with Planck 2018 data. The findings are summarized in the conclusion section.

$f(R, \phi, X)$ Gravity And Ultra Slow-Roll Condition Setup

To begin, we have the following gravitational action (Odintsov and Oikonomou, 2019)

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\frac{1}{2} f(R, \phi, X) \right]. \quad (1)$$

Here, R is Ricci scalar, ϕ shows the scalar field and X is the kinetic term of the scalar field. we consider the following gravity model that includes a mixing term,

$$f(R, \phi, X) = \frac{R}{\kappa^2} - 2\alpha X - 2V(\phi) - \gamma\phi X, \quad (2)$$

where we take $\alpha = 1$ in this study. Note that $\alpha = -1$ corresponds to the phantom type scalar field. However, $\kappa^2 = \frac{1}{M_p^2}$ is reduced Planck mass and γ is a free parameter of the model. According to the following FRW metric

$$ds^2 = -dt^2 + a(t)^2(dx^2 + dy^2 + dz^2), \quad (3)$$

where $a(t)$ is the scale factor (expansion rate of the universe). From the variation of the action integral given by (1) with respect to the metric tensor and scalar field, respectively, we have the following equations (Odintsov and Oikonomou, 2019)

$$3H^2 = \frac{1}{F} (Xf_x + \frac{RF-f}{2} - 3H\dot{F}), \quad (4)$$

$$-2\dot{H} - 3H^2 = \frac{1}{F} (-\frac{RF-f}{2} + \ddot{F} + 2H\dot{F}), \quad (5)$$

$$\frac{1}{a^3} (a^3 \dot{\phi} f_x) \cdot + f_\phi = 0. \quad (6)$$

Herein, the upper dot shows differentiation with respect to the cosmic time and $F = \frac{\partial f}{\partial R}, f_x = \frac{\partial f}{\partial X}$. Also,

metric (3) gives $X = -\frac{\dot{\phi}^2}{2}$. According to the model (2) we can write

$$3H^2 = \kappa^2 (-\alpha X + V(\phi) - \frac{\gamma\phi X}{2}), \quad (7)$$

$$-2\dot{H} - 3H^2 = \kappa^2 (\alpha X - V(\phi) - \frac{\gamma\phi X}{2}), \quad (8)$$

$$(\ddot{\phi} + 3H\dot{\phi})(-2\alpha + \gamma\phi) - 2V_\phi - \gamma X = 0. \quad (9)$$

However, the inflationary parameters are given as follows,

$$\epsilon_1 = \frac{\dot{H}}{H^2}, \epsilon_2 = \frac{\dot{\phi}}{H\dot{\phi}}, \epsilon_3 = \frac{\dot{F}}{2HF}, \epsilon_4 = \frac{\dot{E}}{2HE}, \quad (10)$$

where $E = -\frac{F}{2X} (Xf_x + 2X^2 f_{xx})$. The ultra-slow-roll condition (Martin et al., 2013) is associated with the second parameter. This condition is given as follows.

$$\ddot{\phi} = \sigma H \dot{\phi}, \quad (11)$$

with $\sigma = -3$. This case states the existence of a flat potential, $V_\phi = 0$. Therefore, from eq. (9) we obtain the velocity term,

$$\dot{\phi} = \frac{\sqrt{4V_0 n \phi^{\frac{n-1}{2}}}}{\gamma^{\frac{1}{2}}}, \quad (12)$$

with power-law potential given by (Linde, 1983)

$$V(\phi) = V_0 \phi^n, \quad (13)$$

where V_0 is a constant parameter. To measure inflation amount we use the number of e-foldings N given by

$$N = \int_{\phi_i}^{\phi_f} \frac{H}{\dot{\phi}} d\phi, \quad (14)$$

where ϕ_i and ϕ_f indicate the initial and the final value of the scalar field. Note that the inflation of the universe occurs at the horizon crossing point, so the value of the initial scalar field can be started at this point, $\phi_i \equiv \phi_c$. However, ϕ_f can be found from the equation $\epsilon_1(\phi_f) \sim 1$. On the other hand, the spectral index parameter and the tensor-to-scalar ratio are given by (Hwang and Noh 2005)

$$n_s = 1 + 2 \frac{2\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4}{1 + \epsilon_1}, \quad (15)$$

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1381836

$$r = 4 \left(\frac{\Gamma(\frac{3}{2})}{\Gamma(\frac{3}{2} + \epsilon_2)} \frac{\sqrt{3}\dot{\phi}\sqrt{-2\alpha + \gamma\phi}}{\sqrt{2V(\phi)}} \right)^2, \quad (16)$$

which must be calculated at the horizon crossing point.

The Inflation of the Universe from the Ultra-Slow-Roll Perspective

From the slow-roll approximation $\dot{\phi}^2 \ll V(\phi)$ equation (7) and (8) turn into the forms,

$$3H^2 \cong \kappa^2 V(\phi), \quad (17)$$

$$\dot{H} = \kappa^2 \left(-\alpha X - \frac{\gamma\phi X}{2} \right). \quad (18)$$

Using eqs. (17), (14) and (12) we obtain the scalar field value at the horizon crossing point as follows,

$$\phi_c = \frac{(2\sqrt{27}\gamma^{\frac{1}{2}}n^{\frac{3}{2}}\kappa - 3N\sqrt{12n})^{\frac{2}{3}}}{\frac{2^{\frac{2}{3}}\kappa^{\frac{2}{3}}\gamma^{\frac{1}{3}}}{2^{\frac{2}{3}}\kappa^{\frac{2}{3}}\gamma^{\frac{1}{3}}}} \cong \frac{A^{\frac{2}{3}}}{2^{\frac{2}{3}}\kappa^{\frac{2}{3}}\gamma^{\frac{1}{3}}}. \quad (19)$$

Therefore, the leading terms of the slow-roll parameters are obtained as follows

$$\epsilon_1 = \frac{3n}{\phi}, \epsilon_2 = -3, \epsilon_3 = 0, \epsilon_4 = \frac{\sqrt{12n}}{4\gamma^{\frac{1}{2}}\phi^2}. \quad (20)$$

Here, we assume the condition $\gamma \gg \alpha$ and we will check whether this assumption is true. As a result, inflationary observables were found as follows:

$$n_s = \frac{28A^{\frac{4}{3}} + 602^{\frac{2}{3}}\gamma^{\frac{1}{3}}n\kappa^{\frac{2}{3}}A^{\frac{2}{3}} - 2\sqrt{12n}2^{\frac{4}{3}}\kappa^{\frac{4}{3}}\gamma^{\frac{1}{6}}}{4A^{\frac{4}{3}} + 12n\gamma^{\frac{1}{3}}\kappa^{\frac{2}{3}}2^{\frac{2}{3}}A^{\frac{2}{3}}}, \quad (21)$$

$$r = 4 \left(\frac{8\sqrt{6n}\Gamma(\frac{3}{2})}{\Gamma(\frac{-3}{2})} \right)^2. \quad (22)$$

The Planck 2018 data show the following constraint for the inflation phase (Akrami, et al. 2020)

$$n_s = 0.9649 \pm 0.0042, \quad r < 0.064. \quad (23)$$

We proceed by investigating from the point of the phenomenological of our model given by equation (2). Note that the tensor-to-scalar ratio depends only on the power term of the potential. Since it is assumed the condition $\gamma \gg \alpha$ given below eq. (20), the tensor-to-scalar ratio produces the range $0 < n < 0.00029$ for n . So, by using $n = 0.0028$ into n_s given by (21) we obtain $\gamma = 4.6782 \times 10^{10}$, which is coincided

with the condition $\gamma \gg \alpha$, where $\alpha = 1$. As a result, the spectral index parameter is found in the range of the observational data (Akrami et al. 2020), as follows,

$$n_s = 0.964. \quad (24)$$

CONCLUSION

In this work, we investigate the ultra-slow-roll condition in the early high-energy era of the universe. For this purpose, we take the phenomenological model of $f(R, \phi, X)$ gravity theory given by (2). We obtained results in which the mixed term is fully dominant, that is, condition $\gamma \gg \alpha$. Under this condition, we calculated the tensor-to-scalar ratio and the spectral index parameter. It is observed that the results are in good agreement with Planck's observation data. On the other hand, we can write the state of equation parameter w from equations (7) and (8). From the expression $w = -1 - \frac{2\dot{H}}{3H^2}$ we obtain the equality $w = \frac{n-1}{n+1}$. If we write the value $n = 0.00028$ into the equality, we obtain $w = -0.99944$, which corresponds to the de Sitter-like phase. This is an expected value for the ultra-slow-roll inflation.

CONFLICT OF INTEREST

The Author report no conflict of interest relevant to this article

RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The author declares that this study complies with research and publication ethics.

REFERENCES

- Ade, P.A.R., et al., (BICEP, Keck Collaboration). (2021). Improved Constraints on Primordial Gravitational Waves using Planck, WMAP, and BICEP/Keck Observations through the 2018 Observing Season. Phys. Rev. Lett., 127 (15), 151301.
- Akrami, Y. et al., (Planck Collaboration). (2020). Planck 2018 results. Constraints on inflation. Astron. Astrophys, 641, A10.
- Bahamonde, S., Böhmer, C.G., Lobo, F.S.N., Sáez-Gómez, D. (2015). Generalized $f(R, \phi, X)$ gravity and the late-time cosmic acceleration. Universe, 1, 186-198.
- Bardeen, J. M., Steinhardt, P. J. and Turner, M. S. (1983). Spontaneous creation of almost scale-free density perturbations in an inflationary universe. Phys. Rev. D, 28, 679.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1381836

- Chowdhury, D., Martin, J., C., Ringeval and V. Vennin. (2019). Assessing the scientific status of inflation after Planck. *Phys. Rev. D*, 100 (8), 083537.
- Guth, A.H. (1981). Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems. *Physical Review D*, 23, 347.
- Hwang, J. C. and Noh, H. (2005). Classical evolution and quantum generation in generalized gravity theories including string corrections and tachyon: Unified analyses. *Physical Review D*, 71, 063536.
- Kaczmarek, A. Z. and Szczesniak, D. (2020). Cosmological reconstruction and energy constraints in generalized Gauss–Bonnet–scalar–kinetic–matter couplings. *Scientific Reports*, 10, 18076.
- Keskin, A. I. (2018). Inflation and dark energy in $f(R, \phi, X)$ gravity. *Modern Physics Letters A*, 33, 1850215.
- Korunur, M. (2016). Localized energy associated with Bianchi-Type VI (A) Universe in $f(R)$ theory of gravity. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 2 (2), 64-69.
- Linde, A.D. (1982). A new inflationary universe scenario: A possible solution of the horizon, flatness, homogeneity, isotropy and primordial monopole problems. *Phys. Lett. B*, 108, 389.
- Linde, A.D. (1983). Chaotic Inflation. *Phys. Lett. B*, 129, 177-181.
- Martin, J., Motohashi, H. and Suyama, T. (2013). Ultra slow-roll inflation and the non-Gaussianity consistency relation. *Phys. Rev. D*, 87, 023514.
- Odintsov, S.D. and Oikonomou, V.K. (2019). Constant-roll k-inflation dynamics. *Classical and Quantum Gravity*, 37, 025003.
- Salti, M., Aydoğdu, O. and Açıkgöz, I. (2016). Extended scalar-tensor theory and thermodynamics in teleparallel framework. *Modern Physics Letters A*, 31, 1650185.
- Tsujikawa, S. (2007). Matter density perturbations and effective gravitational constant in modified gravity models of dark energy. *Physical Review D*, 76, 023514.
- Wu, H. (2021). Traversable phantom wormholes via conformal symmetry in $f(R, \phi, X)$ gravity. *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*, 18 (2021) 2150210.
- Yerzhanov, K., Bauyrzhan, G., Altaibayeva, A. and Myrzakulov, R. (2021). Inflation from the symmetry of the generalized cosmological model. *Symmetry*, 13, 2254.

Evaluation of Prostate Cancer via Machine Learning

Fatma Söğüt^{1*}, Evrim Ersin Kangal²

¹Mersin University, Vocational School of Medical Services, Department of First Aid and Emergency, Mersin, Türkiye

²Mersin University, School of Applied Technology and Management of Erdemli, Computer Technology and Information Systems, Mersin, Türkiye

*fatmasogut@mersin.edu.tr^{ORCID}, evrim.kangal@mersin.edu.tr^{ORCID}

Received date:29.10.2023, Accepted date: 01.12.2023

Abstract

By training computers with machine learning technique, patients can be prevented from being exposed to unnecessarily difficult examinations. In recent years, machine learning-based disease assessment approach has gained importance in terms of the benefits it provides to clinical methods. There is a remarkable increase in studies in this direction. There are a limited number of clinical guiding parameters in predicting some types of cancer, and this limitation pushes the patients under treatment to a very frustrating process. For this reason, apart from ordinary procedure of the traditional medicine, an alternative approach to predict the any type of cancer is making a computer-based evaluation that has become a highly studied method in recent years. In this study, a machine learning (ML) approach will be used to evaluate prostate cancer, which is the second most common cancer-related death in men worldwide. For this purpose, the K-Nearest Neighbor (kNN) algorithm based on ML will be used with feature selection, which is a dimension reduction technique. An open source data science platform, Kaggle, was used for the evaluation. The accuracy value of the used algorithm was obtained as 88%. Thus, the performance of the algorithm developed for predicting prostate cancer has an effective value. This result is above the acceptable accuracy limits of the approach followed in predicting the disease, based on studies in the literature. Additionally, in our ML approach, identifying and excluding trivial parameters used in diagnosis also increased the efficiency of our prediction model.

Keywords: Prostate cancer, machine learning, feature selection kNN.

Prostat Kanserinin Makine Öğrenimi Yoluyla Değerlendirilmesi

Öz

Bilgisayarların makine öğrenimi tekniği ile eğitilmesi ile hastaların gereksiz yere zor tetkiklere maruz kalması engellenebilir. Son yıllarda makine öğrenimi tabanlı hastalık değerlendirme yaklaşımı, klinik yöntemlere sağladığı faydalar açısından önem kazanmıştır. Bu yönde yapılan çalışmalarda dikkat çekici bir artış vardır. Bazı kanser türlerini öngörmede sınırlı sayıda klinik yol gösterici parametre vardır ve bu kısıtlılık tedavi gören hastaları oldukça yıpratıcı bir sürece itmektedir. Bu nedenle, geleneksel tıbbın alışlagelmiş prosedürlerinden farklı olarak, herhangi bir kanser türünü tahmin etmede alternatif bir yaklaşım, son yıllarda üzerinde çok çalışılan bir yöntem haline gelen bilgisayar tabanlı değerlendirme yapmaktır. Bu çalışmada, dünya çapında erkeklerde ikinci en yaygın kansere bağlı ölüm olan prostat kanserini değerlendirmek için bir makine öğrenimi (ML) yaklaşımı kullanılacaktır. Bu amaçla bir boyut küçültme tekniği olan öznetelik seçimi ile ML için K-En Yakın Komşu (kNN) algoritması kullanılacaktır. Değerlendirme için açık kaynaklı bir veri bilimi platformu olan Kaggle kullanılmıştır. Kullanılan algoritmanın doğruluk değeri %88 olarak elde edilmiştir. Böylece prostat kanserini tahmin etme için geliştirilen algoritmanın performansı etkili bir değere sahiptir. Bu sonuç, hastalığı tahmin etmede izlenen yaklaşımın, literatüreceki çalışmalar esas alındığında kabul edilebilir doğruluk sınırlarının üzerinde bir değerdir. Ayrıca ML yaklaşımımızda, tanıda kullanılan önemsiz parametrelerin belirlenerek dışlanması öngörme modelimizin verimini de arttırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Prostat kanseri, makine öğrenimi, özellik seçimi, kNN.

INTRODUCTION

Prostate cancer (PCa) is the most common type of cancer in men and the second leading cause of cancer-related deaths. The prostate is a glandular organ in men that produces various secretions for reproductive activities. PCa occurs when some cells that make up the prostate tissue form abnormal tumor structures. While some responsible gene groups have been identified for the causes of PCa, obesity and tobacco use are also risk factors among the causes of PCa. Delay in the diagnosis and treatment of PCa may cause the cancer to spread to neighboring organs and tissues. Involvement may be seen in nearby lymph nodes, bones, and adjacent organs. Currently, there is no early diagnosis method that can reveal that a healthy man will have PCa. With the use of some advanced technological methods (such as Multiparametric magnetic resonance (MR), MR-Ultrasound Fusion Biopsy), it is often diagnosed with a PSA (Prostate Specific Antigen) test, which is examined with a blood sample, or by prostate biopsy (Mydlo *et al.*, 2016; Anand *et al.*, 2023). However, the PSA test can cause pointless, expensive and painful needle biopsies. Multiparametric magnetic resonance imaging (MRI), which is used in radiological settings and depends on diffusion-weighted magnetic resonance imaging (DWI), has become a standard technique that is increasingly applied in the diagnosis of PCa, but still creates various problems due to the differences in the variables seen among patients (Yoo *et al.*, 2019).

The lack of clear rules in the evaluation of PCa symptoms and the inadequacy of current diagnostic methods to predict the disease made us think that ML methods may be effective in predicting the disease in addition to medical methods. The ML is a field of artificial intelligence (AI) based on the idea that a computer system uses data from a large pool of data to learn a model and make decisions or predictions on new data. Conventional feature engineering relies on extracting countable imaging features such as shape, odor, color, volume, density from a raw data from imaging data and then using an ML classifier such as Support Vector Machines (SVM), Adaboost, and Decision Trees (DT). In recent years, deep learning methods have yielded important results for various medical imaging tasks, including histopathological image processing in computer-based vision with various stages such as segmentation, classification, and object detection (Coiture *et al.*, 2018; Qaiser *et al.*, 2019).

Computer-based deep convolutional neural networks (CNNs) (Bektaş, 2022) have achieved significant success in the processes such as object detection and segmentation, as well as imaging and evaluation of objects with a computer, making them one of the indispensable methods in the detection of difficult diseases such as cancer. For this reason, more attention has been given to the development of computer-based evaluation algorithms for medical imaging in recent decades and there are increasingly studied different CNN architectures in this direction (Yoo *et al.*, 2019).

It is thought that a system in which the computer can make decisions based on various data obtained from the patient may be more successful in predicting cancer. From this point of view, the aim of this study is to use the kNN method, which is a single-supervised machine learning algorithm, to predict PCa. Using data from Kaggle, he will be able to predict the diagnosis of the disease by learning the relationship between PCa-specific parameters of his system. In this way, there will be no need for some wearing processes that the patient will be exposed to during the diagnosis process.

The paper is organized as follows. In section 2, we review the related works that have tried to estimate PCa. Section 3 explains the methodology and selected data pool. In section 4, we give the results and related remarks. In section 5, we discuss the obtained results and compare them with the literature. Finally, we give conclusion of the study in section 6.

PREVIOUS STUDIES

ML prediction has been applied to classify PCa using different medical datasets (Goldenberg *et al.*, 2019). In a study performed by Wang *et al.* (Wang *et al.*, 2022), they compared the "diagnostic performance" of their ML studies with MRI to construct a ML prediction model for PCa using transrectal ultrasound video clips of the prostate gland. They selected 14 features and used SVM and random forest (RF) algorithms to generate radiomic models based on these features. In addition, they proposed a machine learning model assisted diagnosis algorithm (MLAD) consisting of SVM, RF and MRI-based diagnosis of radiologists to evaluate the performance of ML models in computer-assisted diagnosis (CAD) and evaluated MRI-based radiologist diagnosis. Srivenkatesh (Srivenkatesh, 2020) used ML to predict PCa using the Kaggle

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1382974

dataset. In his study, he proposed a model to predict PCa. He compared the accuracy of the algorithms of SVM, Random forest, Naive Bayes (NB) classifier and logistic regression (LR) on the dataset from Kaggle. Yoo et al. were used (Yoo et al., 2019) diffusion-weighted data from 427 patients for the detection of clinically significant PCa. They developed an automated CNN-based pipeline using magnetic resonance imaging (DWI) images. The performance of their method when applied to an independent test data outperformed other studies that introduced CAD tools using CNNs for the detection of PCa. In a study performed by Valero et al., (Valero et al., 2022) they present an automatic system for evaluating multi-parametric MRI images by using Deep Learning. The system performs localization, segmentation and GGG estimation of PCa lesions from prostate multi-parametric MRIs. They use a specific instance detection and segmentation network called as the 3D Retina U-Net27 for this study. Zhang et al. developed a new approach for diagnosing the PCa through magnetic resonance imaging (Zhang et al., 2021). They studied with advanced GrowCut algorithm for segmentation of the questionable cancer area and the combined ML algorithms like kNN, SVM and MLP (Multilayer perceptron) in the combined learning system to determine PCa. They have obtained the accuracy of ensembled methods has improved nearly 20% compared to traditional methods.

Araujo et al. proposed a new method to identify patients at risk of PCa. The method, which is developed by using various medical records of the patient, was tested via machine learning algorithms such as SVM, NB, kNN, DT and ANN and the presence of PCa were evaluated based on the available parameters and determined that the best performance was achieved through the linear SVM model (Araujo et al., 2023).

Urologists use Partin tables based on LR to evaluate PCa. For this purpose, the pathological stage estimates given in these tables are used. Coudert et al adapted Partin tables to patients in the UK. They also compared the performance of various classifiers with each other using the same data (Coudert, 2012).

MATERIAL AND METHODS

We present an algorithm to predict the PCa from the data obtained at Kaggle that includes well documented and good quality datasets. In line with the results obtained from the correlation table, interrelated features were removed from the dataset. Then, the kNN classifier working with the wrapper framework is run for this reduced dataset. The flow diagram of a such procedure can be summarized by Fig. 1.

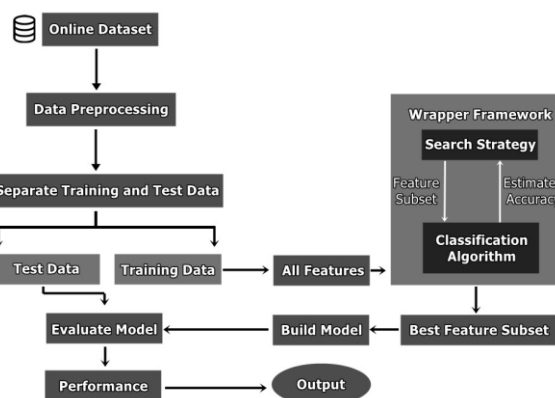


Figure 1. Schematic diagram of the classification process of PCa based on ML.

Dataset

In the process of the classification of dataset to diagnose of the PCa, a dataset is retrieved from the Kaggle (Sajid, 2018).

Separating an image into smaller parts that form it, as close to its true value as possible, is one of the most important stages of the process. The fact that the cells that make up the data are heterogeneous and that their size, format and image density properties vary greatly makes this process even more difficult. One of the approach is a quasi-automatic segmentation procedure that is known as snakes. Starting with an approximate boundary as an initialization, the snake points the actual boundary of the cell nucleus. Contrary to other segmentation methods, snakes can approach boundaries even in areas of little or no gray-scale contrast.

In order to evaluate the cancer existence, pathologists try to identify the size, shape and texture of the cell nuclei. There are ten variables computed for the dataset (radius, texture, perimeter, area, smoothness, compactness, symmetry, fractal dimension, diagnosis_result and ID) (Street et al., 1993). The dataset belongs to 100 patients and data-

types of attributes are “numerical” except the “diagnosis result” which is categorical.

Framework of the analysis

The class asymmetry is a case which requires to be handled carefully in data mining studies. Commonly, the classification algorithms achieve investigation by accepting that the raw data has been tuned, but this is not the usual case. While some of the classes in the data set have enough elements, some may have very few elements. In these cases, incorrect predictions may be made as a result of the algorithm because the classification algorithm will be inadequately trained for elements for which it has limited characteristic information. The aim of classification algorithms is to boost the useful estimation rate. For this reason, we need to tune the distribution of aspects in a convenient way. Therefore, in Fig. 2, we discuss distribution of the results given in the repository of Kaggle and see that the number of “Benign (B)” cases is much higher than the “Malignity (M)” ones. This status can affect adversely the performance of approach; thence we need to generate new “Malignity” situations via a satisfactory Python 3.6 package to cancel this issue.

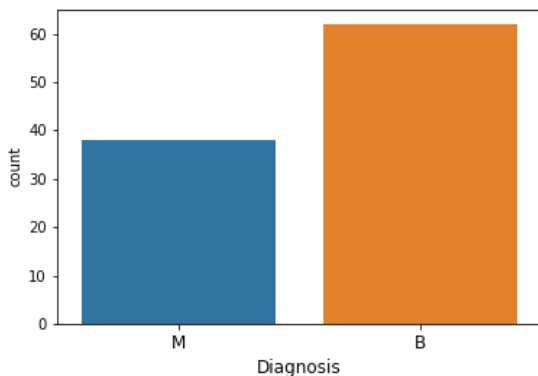


Figure 2. The number of “Benign” and “Malignity” cases.

The most commonly used data classification algorithms based on the ML can be sorted as the Decision Trees (DTs), Linear Regression (LR), Logistic Regression (LoR), Support Vector Machines (SVM), Naive Bayes Classifier (NBC), Neural Networks (NN), Instance-based Learning (IBL) and the k-Nearest Neighbors (kNN). Among them, a widely known method of machine learning algorithm to predict treatment approaches and outcomes for disease using various medical data is the kNN method

and can be used to classify various data. The “k-means” clustering approach is an unsupervised algorithm that iteratively divides data into “k-numbers”. Here k is the number of repetitions. Each point in the feature space is given an identifier corresponding to the k-center number that is spatially closest to it. In the next stage, a new mean is determined for each cluster and the locations of the centroids of each cluster are changed to be consistent with the new mean. The process of assigning and renewing centers continues until no changes occur. Thus, the number of classes forming a cluster is denoted by the letter k. The most important thing to keep in mind when using the kNN method is that it always produces the same results, even when using the same learning data (Anand, 2023).

The large number of variables to be used in the analysis process negatively affects the algorithm in the decision-making process and also increases the compilation time of the process. One method to address this issue is the feature selection (FS) approach. In this way, the negative features that most affect the decision-support mechanism can be determined and removed from the dataset. For this purpose, we will use the “wrapper based supervised FS (WBS-FS)” method in this study. In this method, “feature subsets” are created in the first stage, then the results of each selected subset are compared with random selections from the feature space (Elkhani, 2017). The analysis will be performed by Sequential Forward Selection (SFS) wrapper in which a universal attribute pool is generated by adding the attributes one by one to the dataset.

Visualization of Data

As mentioned above, an unbalanced data set creates serious weaknesses in the performance of the algorithm being studied at the decision-support stage. There are two ways to fix this problem: under-sampling and over-sampling. For this purpose, we can use the SMOTE (Synthetic Minority Oversampling TEchnique) approach (Torgo,2013). Depending on the case presented in Fig. 2, we create sufficient synthetic “Benign” cases for the attribute “Diagnosis” with the help of the SMOTE. After this task, we plot Fig. 3, which shows that number of “Benign” and “Malignity” cases are now balanced.

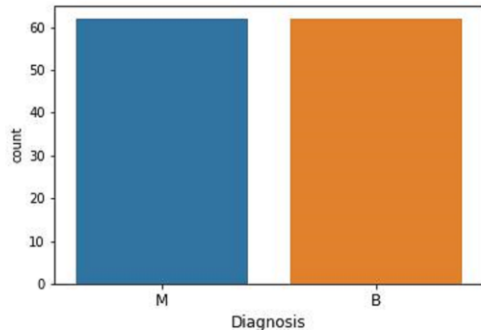


Figure 3. The number of “Benign” and “Malignity” cases after the SMOTE.

Correlation between features is also one of the factors that reduce the performance of the analysis. The correlation table consists of rows and columns in which the variables of the data set are represented. If the correlation between any two features is in the range of $[-1, -0.5]$ then it is labeled as negative correlation. Also, positive correlation between any two attributes requires the correlation coefficient in the range of $[0.5, 1]$. Correlation coefficients have the value 1 on the main diagonal. In this case, it is understood that each variable always has a perfect correlation with itself, but the other correlation values are not correlated. Fig. 4 is provided to show the positive and negative correlations between the features of our dataset. The performance of the algorithm still remains in the desired state, since the attributes are unrelated.

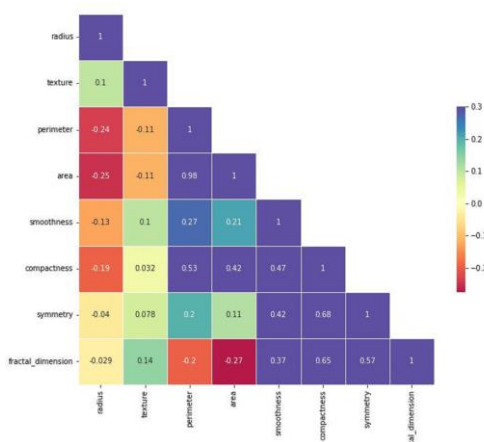


Figure 4. The correlation coefficients for all features.

By using WBS-FS approach, the features negatively affecting the analysis were removed from

the data set for cases where the positive correlation was greater than (0.5) and the negative correlation was less than (-0.5) . In this case, the correlation table of the remaining features is given by Fig. 5.

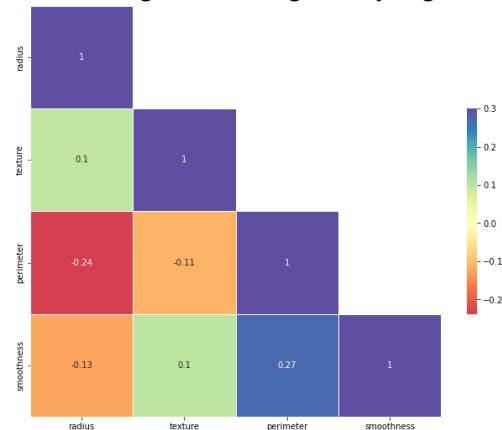


Figure 5. The correlation coefficients for important features.

To see how the averages of the remaining parameters change relative to each other depending on whether the cancer is benign or malignant, the value ranges of these parameters are given in Fig. 6, along with their standard deviations.

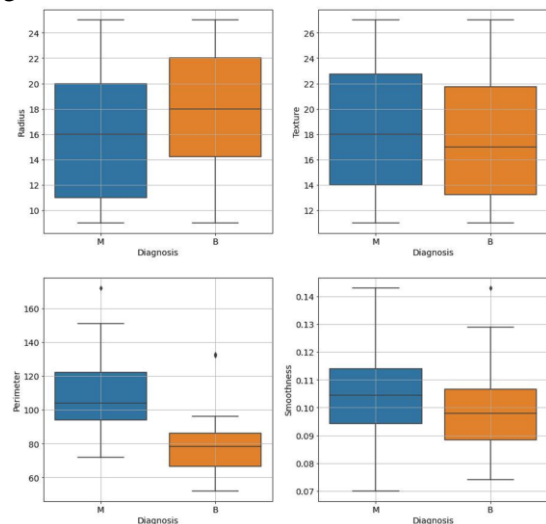


Figure 6. The dynamic of remaining features versus diagnosis.

When the four situations given in the graph are examined, it is clearly seen that the averages of each feature are different from each other for benign or malignant tumors. The algorithm uses the difference when evaluating.

RESULTS AND DISCUSSION

Results

When we started the analysis, we had Kaggle dataset for 100 patients. This number of data was increased to 124 after the SMOTE process. Therefore, analysis was carried out with a total of 124 data. Of the 124 data of patients counted in this study, 30% data of the patients (which belongs to 38 data) was used randomly for testing and 70% (belongs to 86 data) for training to verify classification accuracy and performance.

The confusion matrix (CM) is a measure for the performance evaluations of the methods used for binary and multiclass classification (Kulkarni, 2020). It gives counts from predicted and actual values. The popular metric criteria for performing classification is accuracy. The accuracy of a model (through a CM) is obtained by using the following formula:

$$Accuracy = \frac{TN+TP}{TN+FP+FN+TP} \tag{1}$$

The abbreviations TN means True Negative (gives the number of negative examples classified accurately), TP is for True Positive (and presents the number of positive examples classified accurately), FP stands for False Positive value (the number of actual negative examples classified as positive) and FN means a False Negative value (the number of actual positive examples classified as negative).

As seen in the “Accuracy” plot from Fig. 7., the algorithm shows a success rate of detecting malignant tumors at a level of 88% .

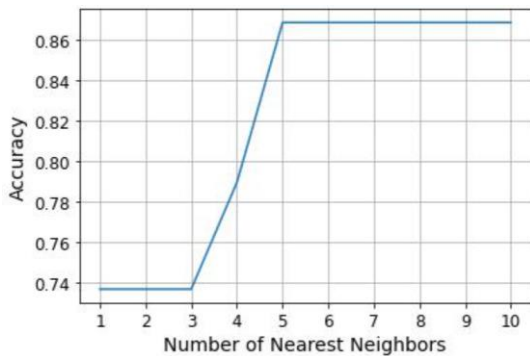


Figure 7. Number of nearest neighbors used in the classification.

The algorithm is run for the test data by selecting the optimized number of nearest neighbors as five, and the resulting CM matrix is given as Fig. 8.

		Actual Data	
		Positive (1)	Negative (0)
Predicted Data	Positive (1)	TP 13	FN 2
	Negative (0)	FP 3	TN 20

Figure 8. For the binary classification, the framework of the CM is presented.

Discussion

The public Kaggle PCa dataset is available online since 2018 and has been used by some studies in the literature (Erdem, 2020). We also used this data for a ML investigation of PCa prediction. The dataset belongs to 100 patients. Since the small number of data may reduce the prediction performance of the algorithm we aim to develop, the number of data was increased with the help of SMOTE before creating our model. SMOTE can balance the class ratio by creating new samples from existing data.

Moreover, in our study, we evaluated which clinical features used to differentiate PCa were more meaningful. According to the data we obtained as a result of the examination, radius, perimeter, smoothness and texture were the most important features in the evaluation of PCa.

After obtaining the convenient data rate, the classification is performed by using kNN algorithm. We obtained the accuracy rate for trained data as %88 and %87 (according to usage of CM table in Eq. 1) for the test data. According to this result, it can be thought that if the computer is trained based on the information obtained from the patient, the developed algorithm will be useful to clinicians in predicting

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1382974

cancer. With the help of this method, patients will not need to undergo some tiring medical procedures.

After obtaining the cross validation (CV) reports of the remaining 4 features, the average accuracy score is 0.826 only for perimeter feature. Even if radius and smoothness are added to this situation, the average accuracy value remains the same. When the texture feature is included in these features, the success rate drops to 0.802. Therefore, it is clear that the perimeter feature alone is sufficient for decision making. The reason for this is that the shape of the benign tumor is symmetrical, while the shape of the malignant tumor is asymmetrical.

The Kaggle dataset we used in this study was also used in another study (Erdem, 2020). However, in that study, the unbalanced data set was not converted to balanced data using SMOTE. Additionally, the feature selection method was not used and they have used 10 parameters in the analysis. However, as we stated in this study, 6 of these 10 parameters negatively affect accuracy performance. The authors ignored this situation. Additionally, when we look at the CM produced in this study, it is understood that we worked with 200 data in total. However, it was stated that 100 data were taken from Kaggle in the study. While an 83% accuracy rate was achieved, confusion arose about how much data was used in total. As a result of SMOTE and WBS-FS processes, the classification rate accuracy value for our study was obtained as 88%, while in that study this value was obtained as 83%. The important thing to consider here is the numbers in the data set. In that study, the authors also used 10 ML algorithms. In some of the algorithms, they achieved very high values. However, as we mentioned above, when SMOTE and WBS-FS are applied to other methods other than kNN, different and meaningful values will be obtained for these accuracy values.

Finally, we can say that if the obtained 4 features with the correlation approach are used as input data in the developed algorithm, an online PCa risk assessment can be made with this model. An online risk calculation model has also been developed by Wang et al. (Wang et al., 2022).

CONCLUSION

PCa is one of the most common causes of death in men in later ages. When cancer is diagnosed early, starting the treatment process as soon as possible will increase the patient's chance of survival. Medical technologies that have developed in recent years are widely used to detect the disease in the light of expert evaluations. However, when traditional approaches are used, the objective evaluation of the process creates difficulties in some areas, as the medical data evaluated can vary widely between patients. For this reason, in recent years, computer-aided diagnosis attempts have been made to evaluate complex data in the medical field. Therefore, developing a model to predict PCa with the help of ML based on clinical data is very important to generate low-cost medical expenses and increase early diagnosis rates.

In this work we put our attention to develop a ML model for predicting the PCa by using the Kaggle dataset. We used the kNN method to obtain the accuracy performance of the model. With the algorithm developed in this study, a PCa prediction rate of 88% accuracy was achieved.

CONFLICT OF INTEREST

The Authors report no conflict of interest relevant to this article.

RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The authors declare that this study complies with research and publication ethics.

REFERENCES

- Anand L., et al. (2023). Diagnosis of Prostate Cancer Using GLCM Enabled KNN Technique by Analyzing MRI Images, BioMed Research International, Article ID 3913351.
- Araujo W. B. D., et al. (2023). Method to aid the diagnosis of PCa using machine learning and clinical data, PREPRINT (Version 1), Research Square.
- Bektaş J. et al. (2022). Integrating a novel SRCRN network for segmentation with representative batch-mode experiments for detecting melanoma. Biomedical Signal Processing and Control 71(B): 103218.
- Coudert O. R. et al. (2012). Machine learning for improved pathological staging of prostate cancer: A performance comparison on a range of classifiers,

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1382974

- Artificial Intelligence in Medicine, Volume 55, Issue 1, 25-35.
- Couture H. D. et al. (2018). Image analysis with deep learning to predict breast cancer grade, er status, histologic subtype, and intrinsic subtype. NPJ Breast Cancer 4(1):30
- Elkhani N. and Muniyandi R.C. (2017). Intell. Data Anal. 21, S137.
- Erdem E., and Bozkurt F. (2021). A Comparison of Various Supervised Machine Learning Techniques for Prostate Cancer Prediction, Eur. J. Sci. Tech., 21, 610-620.
- Goldenberg, S. L., Nir, G. and Salcudean, S. E. (2019). A new era: artificial intelligence and machine learning in prostate cancer. Nature Reviews Urology, 16(7), 391-403.
- Kulkarni A., Chong D. and Batarseh F. A. (2020). 5 Foundations of data imbalance and solutions for a data democracy, Editor(s): Feras A. Batarseh, Ruixin Yang, Data Democracy, Academic Press, 83-106.
- Mydlo J. H. And Godec C. J. (2016). Prostate Cancer, Academic Press.
- Pellicer-Valero, O.J. et al. (2022). Deep learning for fully automatic detection, segmentation, and Gleason grade estimation of PCa in multiparametric magnetic resonance images. Sci Rep 12, 2975.
- Qaiser T, Rajpoot N. M. (2019). Learning where to see: a novel attention model for automated immunohistochemical scoring. IEEE Trans Med Imag 38(11), 2620–2631.
- Regnier-Coudert O., et al. (2012). Machine learning for improved pathological staging of prostate cancer: A performance comparison on a range of classifiers, Artificial Intelligence in Medicine, 55(1), 25–35.
- Sajid S. (2018). Prostate cancer dataset, [Online]. Available:
<https://www.kaggle.com/sajidsaifi/prostate-cancer>
- Srivenkatesh, M. (2020). Prediction of Prostate Cancer using Machine Learning Algorithms, International Journal of Recent Technology and Engineering. 8 (5).
- Street W.N., Wolberg W.H. and Mangasarian O.L (1993). Nuclear feature extraction for breast tumor diagnosis. International Symposium Electronic Imaging: Science and Technology; 1-4; San Jose, CA, USA. vol. 1905, 861-870.
- Torgo L., et al. (2013). SMOTE for Regression, Progress in Artificial Intelligence, Lec-ture Notes in Computer Science, vol 8154, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Valero P. et al. (2022). Deep learning for fully automatic detection, segmentation, and Gleason grade estimation of prostate cancer in multiparametric magnetic resonance images. Scientific reports, 12(1), 2975.
- Wang K. et al. (2022). Machine learning prediction of PCa from transrectal ultrasound video clips. Front. Oncol. 12, 948662.
- Wang C. et al. (2022). PCa Risk Prediction and Online Calculation Based on Machine Learning Algorithm, Chin Med Sci J., 37(3), 210-217.
- Yoo, S. et al. (2019). PCa Detection using Deep Convolutional Neural Networks. Sci Rep 9, 19518.
- Zhang L. et al. (2021). A new approach to diagnosing PCa through magnetic resonance imaging, Alexandria Engineering Journal, 60(1), 897-904.

A Boundary Value Problem with Retarded Argument Containing an Eigenparameter in the Transmission Condition

Özge Işık Gülmezler, Özgür Mızrak*

Mersin University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Mersin, Türkiye

ozgeisik58@gmail.com , *mizrak@mersin.edu.tr 

Received date:28.09.2023, Accepted date: 17.10.2023

Abstract

In this work, a discontinuous boundary value problem with retarded argument is studied. At the discontinuity point there is a transmission condition that contains a parameter. Asymptotic properties of eigenvalues and corresponding eigenfunctions of the boundary value problem are studied.

Keywords: Retarded argument, transmission condition, eigenvalue, eigenfunction, boundary value problem

Geçiş koşulunda Özdeğer Parametresi İçeren Geç Kalan Argümanlı Bir Sınır Değer Problemi

Öz

Bu çalışmada, süreksizlik içeren geç kalan argümanlı bir sınır değer problemi ele alınmıştır. Süreksizlik noktasında parametre içeren bir geçiş koşulu vardır. Ele alınan sınır değer probleminin özdeğer ve özfonksiyonlarının asimptotik özellikleri incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Geç kalan argüman, geçiş koşulu, özdeğer, özfonksiyon, sınır değer problemi

INTRODUCTION

Differential equations with retarded argument becomes the popular branches of functional differential equations. After the development of control systems in engineering retarded equations become important. Before that scientists were aware of this type of delays in the control systems but there was not enough theory about this subject. Because of that this type of affects were ignored in the models. Delays have an important role to explain complex models mathematically and it also has important affects.

Standart problem in this area was given in 1956 by Norkin (Norkin,1956). And in 1958 Norkin studied the same equation with more general boundary conditions(Norkin, 1958). Most of the work done in this area is seperated into two parts as continuous and discontinuous problems. Continuous problems have either standart boundary conditions or eigenparameters at the boundary conditions (Norkin, 1972; Bayramoğlu, Köklü, Baykal 2002; Koparan 2019) Discontinuous problems varries as having eigenparameter at the boundary condition and having

transmission conditions at the discontinuity points (Şen, Bayramov 2011; Şen, Bayramov 2011b; Yang 2012; Aydın Akgun, Bayramov, Bayramoğlu 2013; Şen, Seo, Araci 2013, Hira 20017). There is only one work done about the problem that has eigenparameter at the transmission condition (Şen, Bayramov 2013). Applications of differential equations with retarded argument is given in the book by Kolmanovskii, and Myshkis (Kolmanovskii and Myshkis, 1999).

In this work, below differential equation with retarded argument will be studied. Here the problem has discontinuity and at the discontinuity point transmission conditions have eigenparameter.

$$y''(x) + \lambda^2 y(x) + q(x)y(x - \Delta(x)) = 0, \quad x \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right) \cup \left(\frac{\pi}{2}, \pi\right] \quad (1)$$

$$y(0) + \alpha y'(0) = 0, \quad (2)$$

$$y(\pi) = 0, \quad (3)$$

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1368045

and the transmission conditions

$$y\left(\frac{\pi}{2} + 0\right) = \frac{\delta}{\lambda} y\left(\frac{\pi}{2} - 0\right), \tag{4}$$

$$y'\left(\frac{\pi}{2} + 0\right) = \frac{\delta}{\lambda} y'\left(\frac{\pi}{2} - 0\right), \tag{5}$$

where $q(x)$ and $\Delta(x) \geq 0$ are real valued functions continuous in $\left[0, \frac{\pi}{2}\right) \cup \left(\frac{\pi}{2}, \pi\right]$ and have finite left and right limits at each side of $\frac{\pi}{2}$, if $x \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right)$ then $x - \Delta x \geq 0$, if $x \in \left(\frac{\pi}{2}, \pi\right]$ then $x - \Delta x \geq \frac{\pi}{2}$, λ is an eigenparameter and $\alpha, \delta \neq 0$ are arbitrary real numbers.

Consider the solution of equation (1) on $\left[0, \frac{\pi}{2}\right)$ such that it satisfies the initial conditions

$$\omega_1(0, \lambda) = \alpha, \quad \omega'_1(0, \lambda) = -1. \tag{6}$$

These initial conditions (6) define a unique solution of equation (1) on $\left[0, \frac{\pi}{2}\right)$ (Norkin,1972). By transmission conditions, solution of equation (1) on $\left(\frac{\pi}{2}, \pi\right]$ can be defined in terms of $\omega_1(x, \lambda)$. $\omega_2(x, \lambda)$ can be written as

$$\omega_2\left(\frac{\pi}{2}, \lambda\right) = \frac{\delta}{\lambda} \omega_1\left(\frac{\pi}{2}, \lambda\right), \tag{7}$$

$$\omega'_2\left(\frac{\pi}{2}, \lambda\right) = \frac{\delta}{\lambda} \omega'_1\left(\frac{\pi}{2}, \lambda\right). \tag{8}$$

These initial conditions (7) define a unique solution of equation (1) on $\left(\frac{\pi}{2}, \pi\right]$.

Now, we can define the function $\omega(x, \lambda)$ on $\left[0, \frac{\pi}{2}\right) \cup \left(\frac{\pi}{2}, \pi\right]$ such that

$$\omega(x, \lambda) = \begin{cases} \omega_1(x, \lambda), & x \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right) \\ \omega_2(x, \lambda), & x \in \left(\frac{\pi}{2}, \pi\right] \end{cases}. \tag{9}$$

This function is a solution of equation (1) on $\left[0, \frac{\pi}{2}\right) \cup \left(\frac{\pi}{2}, \pi\right]$, that satisfies left boundary condition (2) and both transmission conditions (4) and (5).

Lemma 1: Let $\omega(x, \lambda)$ be a solution of equation (1) and $\lambda > 0$. Then $\omega_1(x, \lambda)$ and $\omega_2(x, \lambda)$ have the following forms:

$$\begin{aligned} \omega_1(x, \lambda) &= \alpha \cos \lambda x - \frac{\sin \lambda x}{\lambda} + \\ &+ \frac{1}{\lambda} \int_0^x q(\tau) \sin \lambda(x - \tau) \omega_1(\tau - \Delta(\tau), \lambda) d\tau, \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned} \omega_2(x, \lambda) &= \frac{\delta}{\lambda} \omega_1\left(\frac{\pi}{2}, \lambda\right) \cos \lambda\left(x - \frac{\pi}{2}\right) + \\ &+ \frac{\delta}{\lambda^2} \omega'_1\left(\frac{\pi}{2}, \lambda\right) \sin \lambda\left(x - \frac{\pi}{2}\right) + \\ &+ \frac{1}{\lambda} \int_{\frac{\pi}{2}}^x q(\tau) \sin \lambda(x - \tau) \omega_2(\tau - \Delta(\tau), \lambda) d\tau. \end{aligned} \tag{11}$$

Proof: By differentiating $\omega_1(x, \lambda)$ and $\omega_2(x, \lambda)$ twice and applying integration by parts we see that (10) and (11) satisfy equation (1).

Theorem 1: The eigenvalue problem (1)-(5) have only simple eigenvalues.

Proof: Let $\tilde{\lambda}$ be an eigenvalue of the problem (1)-(5) and

$$\tilde{u}(x, \tilde{\lambda}) = \begin{cases} \tilde{u}_1(x, \tilde{\lambda}), & x \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right) \\ \tilde{u}_2(x, \tilde{\lambda}), & x \in \left(\frac{\pi}{2}, \pi\right] \end{cases}$$

be a corresponding eigenfunction. Then from (2) and (6) it follows that the Wronskian

$$W[\tilde{u}_1(0, \tilde{\lambda}), \tilde{\omega}_1(0, \tilde{\lambda})] = \begin{vmatrix} \tilde{u}_1(0, \tilde{\lambda}) & \alpha \\ \tilde{u}'_1(0, \tilde{\lambda}) & -1 \end{vmatrix} = 0.$$

Then it means that $\tilde{u}_1(x, \tilde{\lambda})$ and $\tilde{\omega}_1(0, \tilde{\lambda})$ are linearly dependent on $\left[0, \frac{\pi}{2}\right)$. Similarly it can be proved that $\tilde{u}_2(x, \tilde{\lambda})$ and $\tilde{\omega}_2(0, \tilde{\lambda})$ are linearly dependent. Consequently, it follows that $\omega(x, \tilde{\lambda})$ is an eigenfunction for the boundary value problem (1)-(5) and all the eigenfunctions to this problem corresponding to $\tilde{\lambda}$ are linearly dependent. Hence eigenvalues of the problem are simple.

MATERIAL AND METHODS

The function $\omega(x, \lambda)$ defined by (10) is a solution of equation (1) satisfying left boundary condition (2) and transmission conditions (4) and (5). Writing $\omega(x, \lambda)$ into (3), characteristic equation is obtained.

$$F(\lambda) = \omega(\pi, \lambda) = \omega_2(\pi, \lambda) = 0. \tag{12}$$

Theorem 1 guarantees that the set of eigenvalues of the boundary value problem (1)-(5) coincides with the set of real roots of equation (12).

Lemma 2:

1. Let $\lambda \geq 2q_1$. Then $\omega_1(x, \lambda)$ given by equation (10) satisfy the following inequality:

$$|\omega_1(x, \lambda)| \leq \frac{1}{q_1} \sqrt{4q_1^2 \alpha^2 + 1}. \tag{13}$$

2. Let $\lambda \geq \max\{2q_1, 2q_2\}$. Then $\omega_2(x, \lambda)$ given by equation (10) satisfies the following inequality:

$$|\omega_2(x, \lambda)| \leq \frac{4|\delta|}{\lambda q_1} \sqrt{4q_1^2 \alpha^2 + 1}. \tag{14}$$

Proof: Let $B_{1\lambda} = \max_{[0, \frac{\pi}{2}]} |\omega_1(x, \lambda)|$. Then from (10), it follows that for every $\lambda > 0$, the following inequality holds:

$$B_{1\lambda} \leq \sqrt{\alpha^2 + \frac{1}{\lambda^2}} + \frac{1}{\lambda} q_1 B_{1\lambda}. \tag{15}$$

For $\lambda \geq 2q_1$, (13) is obtained. Differentiating (10) with respect to x ,

$$\omega_1'(x, \lambda) = -\alpha \lambda \sin \lambda x - \cos \lambda x - \int_0^x q(\tau) \cos \lambda(x - \tau) \omega_1(\tau - \Delta(\tau), \lambda) d\tau \tag{16}$$

is obtained. From (13) and (16), for $\lambda \geq 2q_1$, we have $|\omega_1'(x, \lambda)| \leq \sqrt{\alpha^2 \lambda^2 + 1} + \sqrt{4q_1^2 \alpha^2 + 1}$.

Hence for $\lambda \geq 2q_1$, and $x \in [0, \frac{\pi}{2}]$,

$$\frac{|\omega_1'(x, \lambda)|}{\lambda} \leq \frac{1}{q_1} \sqrt{4q_1^2 \alpha^2 + 1}. \tag{17}$$

Let $B_{2\lambda} = \max_{[\frac{\pi}{2}, \pi]} |\omega_2(x, \lambda)|$, then from (10), (13) and (17), for $\lambda \geq 2q_1$, the following inequality holds:

$$B_{2\lambda} \leq \frac{2|\delta|}{\lambda q_1} \sqrt{4q_1^2 \alpha^2 + 1} + \frac{1}{\lambda} q_2 B_{2\lambda}.$$

Hence for $\lambda \geq \max\{2q_1, 2q_2\}$, (14) is obtained.

Theorem 2: Eigenvalues of the problem (1)-(5) form an infinite set of positive real numbers.

Proof: Differentiating (10) with respect to x ,

$$\begin{aligned} \omega_2'(x, \lambda) = & -\delta \omega_1\left(\frac{\pi}{2}, \lambda\right) \sin \lambda\left(x - \frac{\pi}{2}\right) + \\ & \frac{\delta}{\lambda} \omega_1'\left(\frac{\pi}{2}, \lambda\right) \cos \lambda\left(x - \frac{\pi}{2}\right) + \\ & + \frac{1}{\lambda} \int_{\frac{\pi}{2}}^x q(\tau) \cos \lambda(x - \tau) \omega_2(\tau - \Delta(\tau), \lambda) d\tau. \end{aligned} \tag{18}$$

Writing (10), (11), (16) and (18) into the characteristic equation (12), we obtain,

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha \delta}{\lambda} \cos \lambda \pi - \frac{\delta}{\lambda^2} \sin \lambda \pi + \\ & + \frac{\delta}{\lambda^2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} q(\tau) \sin \lambda(\pi - \tau) \omega_1(\tau - \Delta(\tau), \lambda) d\tau \\ & + \frac{1}{\lambda} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} q(\tau) \sin \lambda(\pi - \tau) \omega_2(\tau - \Delta(\tau), \lambda) d\tau = 0. \end{aligned} \tag{19}$$

For $\alpha \neq 0$ and sufficiently large λ , by (13) and (14) equation (19) may be written as

$$\lambda \cos \lambda \pi + O(1) = 0. \tag{20}$$

Clearly there are infinitely many real numbers λ that satisfy (20).

Asymptotic Formulas for Eigenvalues and Eigenfunctions

Now we will study the asymptotic behavior of eigenvalues and eigenfunctions. From now on we will assume λ is sufficiently large. On $[0, \frac{\pi}{2}]$, from (9) and (13)

$$\begin{aligned} \omega_1(x, \lambda) = & O(1). \\ \text{On } \left[\frac{\pi}{2}, \pi\right], & \text{ from (10) and (14)} \end{aligned} \tag{21}$$

$$\omega_2(x, \lambda) = O\left(\frac{1}{\lambda}\right). \tag{22}$$

Derivatives of $\omega_1(x, \lambda)$ and $\omega_2(x, \lambda)$ with respect to λ on $x \in [0, \frac{\pi}{2}]$, and $x \in (\frac{\pi}{2}, \pi]$ respectively, exist and are continuous for $|\lambda| < \infty$ by Norkin (Norkin, 1972).

Lemma 3:

$$\omega'_{1\lambda}(x, \lambda) = O(1), \text{ for } x \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right], \tag{23}$$

$$\omega'_{2\lambda}(x, \lambda) = O\left(\frac{1}{\lambda}\right), \text{ for } x \in \left[\pi, \frac{\pi}{2}\right], \tag{24}$$

Proof: Differentiating (9) with respect to λ and by (21),

$$\omega'_{1\lambda}(x, \lambda) = \frac{1}{\lambda} \int_0^x q(\tau) \sin \lambda(x - \tau) \omega'_{1\lambda}(\tau - \Delta(\tau), \lambda) d\tau + K(x, \lambda), \quad (|K(x, \lambda)| \leq K_0). \tag{25}$$

Let $C_{1\lambda} = \max_{[0, \frac{\pi}{2}]} |\omega'_{1\lambda}(x, \lambda)|$. The existence of $C_{1\lambda}$ follows from the continuity of derivative for $x \in [0, \frac{\pi}{2}]$. From (25)

$$C_{1\lambda} = \frac{1}{\lambda} q_1 C_{1\lambda} + K_0$$

is obtained. So for $\lambda \geq 2q_1$, $C_{1\lambda} \leq 2K_0$. Therefore (23) is proved. Similarly (24) may be proved.

Theorem 3: Let n be a sufficiently large natural number. Then there is only one eigenvalue of the problem (1)-(5) around $n + \frac{1}{2}$.

Proof: First consider the $O(1)$ term in equation (20)

$$\begin{aligned} & -\frac{\lambda}{\alpha} \sin \lambda \pi + \\ & + \frac{1}{\alpha} \int_0^{\frac{\pi}{2}} q(\tau) \sin \lambda(\pi - \tau) \omega_1(\tau - \Delta(\tau), \lambda) d\tau + \\ & + \frac{\lambda}{\alpha} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} q(\tau) \sin \lambda(\pi - \tau) \omega_2(\tau - \Delta(\tau), \lambda) d\tau \end{aligned}$$

From (21)-(24), this expression has bounded derivative with respect to λ . It is clear that for λ big enough roots of equation (20) are located close to $n +$

$\frac{1}{2}$. We need to show that there is only one solution of (20) around each $n + \frac{1}{2}$.

Consider the function $F(\lambda) = \lambda \cos \lambda \pi + O(1)$. Its derivative $F'(\lambda) = \cos \lambda \pi - \lambda \pi \sin \lambda \pi + O(1)$ is equal to zero for λ close to $n + \frac{1}{2}$ for sufficiently large n . Consequently by Rolle's Theorem proof is completed.

From equation (20) eigenvalues of the boundary value problem (1)-(5) are obtained as:

$$\lambda_n = n + \frac{1}{2} + O\left(\frac{1}{n}\right), \tag{26}$$

From equation (10), (16) and (21)

$$\omega_1(x, \lambda) = \alpha \cos \lambda x + O\left(\frac{1}{\lambda}\right), \tag{27}$$

$$\omega'_1(x, \lambda) = -\alpha \lambda \sin \lambda x + O(1), \tag{28}$$

From equation (11), (22), (27) and (28),

$$\omega_2(x, \lambda) = \frac{\alpha \delta}{\lambda} \cos \lambda x + O\left(\frac{1}{\lambda^2}\right). \tag{29}$$

Hence eigenfunctions $u_n(x)$ have the following asymptotic representation.

$$u_n(x) = \begin{cases} \alpha \cos\left(n + \frac{1}{2}\right)x + O\left(\frac{1}{n}\right), & x \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right] \\ \frac{\delta}{n} \alpha \cos\left(n + \frac{1}{2}\right)x + O\left(\frac{1}{n^2}\right), & x \in \left(\frac{\pi}{2}, \pi\right] \end{cases}$$

RESULTS AND DISCUSSION (Main title)

Under additional assumptions we can improve these formulas for the eigenvalues and the eigenfunctions.

Improved Asymptotic Representations for the Eigenvalues and Eigenfunctions

Theorem 4: Assume that $q'(x)$ and $\Delta''(x)$ exist, are bounded on $[0, \frac{\pi}{2}) \cup (\frac{\pi}{2}, \pi]$ and have left and right limits at $\frac{\pi}{2}$, on $[0, \frac{\pi}{2}) \cup (\frac{\pi}{2}, \pi]$, $\Delta'(x) \leq 1$, $\Delta(0) = 0$ and $\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{2}^+} \Delta(x) = 0$. Then for $n \rightarrow \infty$, eigenvalues of the problem (1)-(5) are as follows:

$$\lambda_n = n + \frac{1}{2} + \frac{\alpha B(\pi, n, \Delta(\tau)) - 1}{\alpha n \pi} + O\left(\frac{1}{n^2}\right) \tag{30}$$

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1368045

Proof: It is clear that from (27) and (29)

$$\omega_1(\tau - \Delta(\tau), \lambda) = \alpha \cos \lambda(\tau - \Delta(\tau)) + O\left(\frac{1}{\lambda}\right) \quad (31)$$

$$\omega_2(\tau - \Delta(\tau), \lambda) = \frac{\alpha\delta}{\lambda} \cos \lambda(\tau - \Delta(\tau)) + O\left(\frac{1}{\lambda^2}\right) \quad (32)$$

Writing these expressions into the equation (19) we obtain

$$\begin{aligned} &\lambda\alpha\delta \cos \lambda\pi - \delta \sin \lambda\pi + \\ &+ \alpha\delta \int_0^\pi q(\tau) \sin \lambda\pi \frac{1}{2} [\cos \lambda\Delta(\tau) \\ &\quad + \cos \lambda(2\tau - \Delta(\tau))] d\tau \\ &- \delta \int_0^\pi q(\tau) \sin \lambda\tau \frac{1}{2} [\sin \lambda\Delta(\tau) + \sin \lambda(2\tau - \\ &\Delta(\tau))] d\tau + O\left(\frac{1}{\lambda}\right) = 0. \end{aligned} \quad (33)$$

Defining

$$\begin{aligned} A(x, \lambda, \Delta(\tau)) &= \frac{1}{2} \int_0^x q(\tau) \sin \lambda \Delta(\tau) d\tau, \\ B(x, \lambda, \Delta(\tau)) &= \frac{1}{2} \int_0^x q(\tau) \cos \lambda \Delta(\tau) d\tau, \end{aligned} \quad (34)$$

and the Lemma III.3.3 in (Norkin,1972),

$$\begin{aligned} \int_0^x q(\tau) \cos \lambda(2\tau - \Delta(\tau)) d\tau &= O\left(\frac{1}{\lambda}\right), \\ \int_0^x q(\tau) \sin \lambda(2\tau - \Delta(\tau)) d\tau &= O\left(\frac{1}{\lambda}\right). \end{aligned} \quad (35)$$

Using (34) and (35), equation (33) can be written as

$$\begin{aligned} &\lambda\alpha\delta \cos \lambda\pi - \delta \sin \lambda\pi + \\ &\alpha\delta \sin \lambda\pi B(\pi, \lambda, \Delta(\tau)) - \alpha\delta \cos \lambda\pi A(\pi, \lambda, \Delta(\tau)) \\ &\quad + O\left(\frac{1}{\lambda}\right) = 0. \end{aligned}$$

Hence

$$\cot \lambda\pi = \frac{1 - \alpha B(\pi, \lambda, \Delta(\tau))}{\alpha\lambda} + O\left(\frac{1}{\lambda^2}\right).$$

Writing $\lambda = \lambda_n = n + \frac{1}{2} + \delta_n$ into above equation

$$\delta_n = \frac{\alpha B(\pi, n, \Delta(\tau)) - 1}{\alpha n\pi} + O\left(\frac{1}{n^2}\right)$$

and

$$\lambda_n = n + \frac{1}{2} + \frac{\alpha B(\pi, n, \Delta(\tau)) - 1}{\alpha n\pi} + O\left(\frac{1}{n^2}\right)$$

are obtained.

Theorem 5: Under the same hypothesis of Theorem 4 eigenfunctions of the boundary value problem (1)-(5) are as follows:

$$\begin{aligned} u_{1n}(x) &= \alpha \left(1 - \frac{A(x, n, \Delta(\tau))}{n}\right) \cos \left(n + \frac{1}{2}\right) x \\ &\quad - \frac{(\alpha B(\pi, n, \Delta(\tau)) - 1)x}{n\pi} \sin \left(n + \frac{1}{2}\right) x \\ &\quad + \left(\frac{\alpha B(x, n, \Delta(\tau)) - 1}{n}\right) \sin \left(n + \frac{1}{2}\right) x + O\left(\frac{1}{n^2}\right), \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} u_{2n}(x) &= \frac{\alpha\delta}{n} \left(1 - \frac{A(x, n, \Delta(\tau))}{n}\right) \cos \left(n + \frac{1}{2}\right) x \\ &\quad - \frac{\delta(\alpha B(\pi, n, \Delta(\tau)) - 1)x}{n^2\pi} \sin \left(n + \frac{1}{2}\right) x \\ &\quad + \frac{\delta(\alpha B(x, n, \Delta(\tau)) - 1)}{n^2} \sin \left(n + \frac{1}{2}\right) x + O\left(\frac{1}{n^3}\right). \end{aligned} \quad (37)$$

Proof: From (10) and (31) we obtain

$$\begin{aligned} \omega_1(x, \lambda) &= \alpha \cos \lambda x - \frac{\sin \lambda x}{\lambda} + \\ &+ \frac{\alpha}{\lambda} \int_0^x q(\tau) \sin \lambda(x - \tau) \cos \lambda(\tau - \Delta(\tau)) d\tau + \\ &+ O\left(\frac{1}{\lambda^2}\right). \end{aligned}$$

Using (34) and (35),

$$\begin{aligned} \omega_1(x, \lambda) &= \alpha \left(1 - \frac{A(x, \lambda, \Delta(\tau))}{\lambda}\right) \cos \lambda x + \\ &+ \left(\frac{\alpha B(x, \lambda, \Delta(\tau)) - 1}{\lambda}\right) \sin \lambda x + O\left(\frac{1}{\lambda^2}\right). \end{aligned} \quad (38)$$

Replacing λ with λ_n and using (30),

$$\begin{aligned} u_{1n}(x) &= \alpha \left(1 - \frac{A(x, n, \Delta(\tau))}{n}\right) \cos \left(n + \frac{1}{2}\right) x \\ &\quad - \frac{(\alpha B(\pi, n, \Delta(\tau)) - 1)x}{n\pi} \sin \left(n + \frac{1}{2}\right) x \\ &\quad + \left(\frac{\alpha B(x, n, \Delta(\tau)) - 1}{n}\right) \sin \left(n + \frac{1}{2}\right) x + O\left(\frac{1}{n^2}\right). \end{aligned}$$

Writing (10), (16), (31) and (32) into the equation (11), we have

$$\omega_2(x, \lambda) = \frac{\alpha\delta}{\lambda} \cos\lambda x - \frac{\sin\lambda x}{\lambda^2} + \frac{\alpha\delta}{\lambda^2} \int_0^x q(\tau) \sin \lambda(x - \tau) \cos \lambda(\tau) - \Delta(\tau) d\tau + o\left(\frac{1}{\lambda^3}\right).$$

Using (34) and (35),

$$\omega_2(x, \lambda) = \frac{\alpha\delta}{\lambda} \left(1 - \frac{A(x, \lambda, \Delta(\tau))}{\lambda}\right) \cos\lambda x + \delta \left(\frac{\alpha B(x, \lambda, \Delta(\tau)) - 1}{\lambda^2}\right) \sin \lambda x + o\left(\frac{1}{\lambda^3}\right). \tag{39}$$

Replacing λ with λ_n and using (30),

$$u_{2n}(x) = \frac{\alpha\delta}{n} \left(1 - \frac{A(x, n, \Delta(\tau))}{n}\right) \cos\left(n + \frac{1}{2}\right)x - \frac{\delta(\alpha B(\pi, n, \Delta(\tau)) - 1)x}{n^2\pi} \sin\left(n + \frac{1}{2}\right)x + \frac{\delta(\alpha B(x, n, \Delta(\tau)) - 1)}{n^2} \sin\left(n + \frac{1}{2}\right)x + o\left(\frac{1}{n^3}\right)$$

is obtained.

CONCLUSION

Eigenvalues and eigenfunctions of the (1)-(5) boundary value problem have the following asymptotic representation:

$$\lambda_n = n + \frac{1}{2} + \frac{\alpha B(\pi, n, \Delta(\tau)) - 1}{\alpha n \pi} + o\left(\frac{1}{n^2}\right)$$

$$u_n(x) = \begin{cases} u_{1n}(x), & x \in [0, \frac{\pi}{2}) \\ u_{2n}(x), & x \in (\frac{\pi}{2}, \pi] \end{cases}$$

here $u_{1n}(x)$ and $u_{2n}(x)$ are given by the equation (36) and (37) respectively.

CONFLICT OF INTEREST

The authors have no conflicts of interest to declare.

RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The authors declare that this study complies with research and publication ethics.

REFERENCES

Aydin Akgun, F., Bayramov, A. and Bayramoğlu, M. (2013). Discontinuous boundary value problems with retarded argument and eigenparameter-dependent boundary conditions. *Mediterranean journal of mathematics*, 10(1), 277-288.

Bayramoğlu, M., Köklü, K. Ö. and Baykal, O. (2002). On the spectral properties of the regular Sturm-Liouville Problem with the lag argument for which its boundary conditions depends on the spectral parameter. *Turkish Journal of Mathematics*, 26(4), 421-432.

Cetinkaya, F. A. and Mamedov, K. R. (2017). A boundary value problem with retarded argument and discontinuous coefficient in the differential equation. *Azerbaijan Journal of Mathematics*, 7(1), 135-145.

Hira, F. (2017). A trace formula for the Sturm-Liouville type equation with retarded argument. *Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Sér. A1 Math. Stat*, 66(1), 124-132.

Kolmanovskii, V. and Myshkis, A. (1999). *Introduction to the Theory and Applications of Functional Differential Equations*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Koparan, K. (2019). Sınırdaki parametre içeren geç kalan argümanlı Sturm Liouville probleminin özdeğerlerinin ve özfonksiyonlarının asimtotik özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*.

Norkin, S. B. (1956). Boundary problem for a second order differential equation with a retarded argument. *Uchenye Zapiski Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta*, 181, 59-72.

Norkin, S. B. (1958). On periodic solutions of a linear homogeneous differential equation of second order with retarded argument. *Matematicheskii Sbornik*, 87(1), 71-104.

Norkin, S. B. (1972). *Differential Equations of the Second Order with Retarded Argument*, Providence, Rhode Island: American Mathematical Society.

Şen, E. and Bayramov, A. (2011). On calculation of eigenvalues and eigenfunctions of a Sturm-Liouville type problem with retarded argument which contains a spectral parameter in the boundary condition. *Journal of Inequalities and Applications*, 2011(1), 1-9.

Şen, E. and Bayramov, A. (2011). Calculation of eigenvalues and eigenfunctions of a discontinuous boundary value problem with retarded argument which contains a spectral parameter in the boundary

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1368045

- condition. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(11-12), 3090-3097.
- Şen, E. and Bayramov, A. (2013). Asymptotic formulations of the eigenvalues and eigenfunctions for a boundary value problem. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 36(12), 1512-1519.
- Şen, E., Seo, J. J. and Araci, S. (2013). Asymptotic behaviour of eigenvalues and eigenfunctions of a Sturm-Liouville problem with retarded argument. *Journal of Applied Mathematics*, 2013.
- Yang, C. F. (2012). Trace and inverse problem of a discontinuous Sturm–Liouville operator with retarded argument. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 395(1), 30-41.

Güneş Bacası Sera Örtüsü Alanında Sason Çileğinin Kurutma Performansının İncelenmesi

Hakan Karakaya^{1*}, Aytaç Çetinbaş²

¹Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye

²Antalya Milli Eğitim Müdürlüğü, Antalya, Türkiye

* hakan.karakaya@batman.edu.tr , ayt_ctb@hotmail.com 

Makale gönderme tarihi: 25.08.2023, Makale kabul tarihi: 24.11.2023

Öz

Güneş enerjisinden faydalanma yöntemlerini temelde ısı uygulamalar ve elektrik üretimi olarak iki kategoriye ayırmak mümkündür. Her iki kategoriye de kapsayan önemli bir uygulama şekli ise Güneş bacalarıdır. Güneş bacalarının esas kullanım amacı elektrik üretimi olmasına karşın atıl durumda olan örtü alanlarında kurutma yapılabilirliği düşünülmektedir. Kurutma bir ürün içerisinde bulunan nemin üründen ayrıştırılması işlemi olarak tanımlanmaktadır. Kurutma işlemi ürün içerisindeki suyun uzaklaştırılarak üründeki su seviyesinin belirli bir seviyede tutulması amaçlanmakta, bu şekilde ürünün çürümesine, bozulmasına neden olan mikroorganizmaların üremesi engellenerek ürünün raf ömrünün uzatılması sağlanır. Ayrıca üründeki kütle kaybı nedeniyle taşıma, depolama kolaylığı sağlar.

Bu çalışmada Güneş bacasında elektrik üretiminin yanı sıra atıl halde bulunan sera örtü alanlarının kurutma işlemi için ideal bir ortam olduğunu göstermek hedeflenmiştir. Güneş bacasında elektrik üretimi yapılırken atıl durumdaki sera örtü alanında belirli kalınlıklarda (3mm, 5mm,7mm) ve belirli bölgelere (4 yönde 12 farklı noktada) yerleştirilmiş çilek örneklerinin kurutulması gerçekleştirilmiştir. Kurutma deneylerinde kurutma noktalarındaki hava sıcaklığı, hava hızı, kuruma zamanı, kütle değişimleri, nem oranları, dış ortam sıcaklığı ve anlık güneş ışınımı ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen verilerle sıcaklık-zaman, güneş ışınımı-zaman, kuruma hava hızı-zaman, kütle değişimi – kuruma zamanı, yüzde nem içeriği – kuruma zamanı, nem oranı (MR) – kuruma zamanı, nem içeriği – kuruma zamanı, kuruma hızı – kuruma zamanı, kuruma hızı – nem oranı grafikleri elde edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda atıl halde bulunan sera örtü alanının kurutma işlemi için elverişli olduğu görülmüş, ayrıca kurutma işlemi için en ideal yönün Güney yönü olduğu ve kurutma için en uygun bölgenin baca giriş bölgesi olduğu tespit edilmiştir. Güneş bacasında yapılan kurutma işleminin süresinin güneşte (doğal) kurutma süresine göre yaklaşık % 58.6 daha kısa olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Bacası, güneş enerjisi, kurutma, Sason Çileği, yenilenebilir enerji.

Sason Strawberry in Solar Chimney Greenhouse Cover Field Analysis of Drying Performance

Abstract

The methods of utilizing solar energy can be basically divided into two categories as thermal applications and electricity generation. An important form of application covering both categories is solar chimneys. Although the main use of solar chimneys is electricity generation, drying feasibility is deducted in the inactive cover areas. Drying is defined as the process of separating the moisture contained in a product from the product. The drying process aims to keep the water level in the product at a certain level by removing the water in the product, thus prolonging the shelf life of the product by preventing the growth of microorganisms that cause the product to rot. In addition, it provides ease of transportation and storage due to the loss of mass in the product.

In this study, it is aimed to show that in addition to electricity production in the solar chimney, idle greenhouse cover areas are an ideal environment for the drying process. While electricity is being produced in the solar chimney, the strawberry samples placed in certain thicknesses (3mm, 5mm,7mm) and in certain regions (12 different points in 4 directions) were dried in the idle greenhouse cover area. In the drying experiments, air temperature, air velocity, drying time, mass changes, humidity ratios, outdoor temperature and instantaneous solar radiation measurements were made at the drying points. Temperature-time, solar radiation-time, drying air velocity-time, mass change - drying time, percent moisture content - drying time, humidity rate (MR) - drying time, moisture content - drying time, drying speed with the

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1349680

data obtained as a result of the measurements. – drying time, drying rate – humidity rate graphics were obtained. As a result of the study, it was seen that the idle greenhouse cover area was suitable for the drying process, and it was determined that the most ideal direction for the drying process was the South direction and the most suitable area for drying was the chimney entrance area. It has been determined that the drying time in the solar chimney is approximately 58.6% shorter than the (natural) drying time in the sun.

Keywords: Solar chimney, solar energy, drying, Sason Strawberry, renewable energy.

GİRİŞ

Güneş bacaları, sera örtüsü altında ısınan havanın yükselerek baca içerisindeki türbinin döndürülmesi ile elektrik enerjisi üreten yenilenebilir enerji sistemlerine bir örnektir (Schlaich, 2005). Güneş bacalarının sera örtü alanları herhangi bir amaç için kullanılmamaktadır. Güneş bacalarının karakteristik yapılarından dolayı sera örtü alanları çevrelerine göre daha sıcak olmaktadır. Bu nedenle Güneş bacalarında elektrik üretiminin yanında sera örtü alanlarındaki ısı enerjisi kullanılarak tarım ürünlerinin kurutulması gerçekleştirilebilir.

Kurutma, maddelerin içerisinde bulunan suyun uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Madde içerisinde bulunan su, mikroorganizmaların çoğalmasını sağladığından maddelerin çabuk bozulmasına, raf ömrünün ve dayanıklılığının kısılmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı tarım ürünlerindeki nemin belirli bir seviyede tutulması amaçlanır. Ayrıca maddelerdeki su miktarının azalması ile birlikte maddenin ağırlığındaki azalmadan dolayı taşıma kolaylığı sağlamaktadır. Kurutulan ürün sayısındaki artış ve kurutma teknolojilerinin gelişmesi ile her türlü maddenin kurutulabilir hale gelmesi kurutma sektörünün oluşmasını sağlamıştır. Kurutma işleminin yapıldığı ortamın fiziksel koşulları ve kurutulan ürün özelliklerine bağlı olarak pek çok farklı kurutma yöntemleri geliştirilmiştir. Kurutma yöntemlerinin en önemli gideri ise enerji maliyetleridir. Bu nedenle enerji maliyetlerinin azaltılması için Güneş enerjili kurutma sistemleri yaygınlaşmıştır. Güneş enerjili kurutma sistemleri enerji maliyetlerinin ve yatırım maliyetlerinin düşük olması gibi avantajlarından dolayı diğer kurutma yöntemlerinden ayrılırlar (Yağcıoğlu, 1999).

Araştırmacılar çilek ve tarım ürünlerinin kurutulmasında güneş enerjili sistemlerin yanında birçok farklı kurutma yöntemi ile ilgili çalışmalar yapmıştır.

Johnson ve Al Mukhaini (2016), deneysel çalışmalarında laboratuvar ölçekli tepsili kurutucuda kurutma işlemine tabi tuttukları çilek ve şeftali

örnekleri için farklı kurutma sıcaklık ve hava hızlarında en uygun modelin Page modelinin olduğunu belirtmişlerdir.

Yoğurtçu (2016) halojen kurutma metodu ile haşlanmamış buğdayın kurutma parametrelerini incelemiştir. Farklı sıcaklıklarda yapılan deneylerin haşlanmış buğdayın kuruma verilerine olan etkisi belirlenmiştir. Yapılan çalışmada Weibull Distribution modelin kuruma eğrilerine en yakın model olduğu belirlenmiştir.

Adak ve ark. (2017), kızılötesi kurutma işleminde farklı kurutma koşullarında çileğin özelliklerindeki değişimler ve çilek kurutulması için en uygun koşullarını tespit etmeye çalışmışlardır. Çalışmaları sonucunda 200W, 100°C sıcaklık ve 1.5 m/s hava hızında çilek örneklerinin besin değerlerinin en iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

Amami ve ark. (2017), ultrasonik osmotik dehidrasyon işlemine tabi tuttukları çilek örneklerinin kurutma performanslarını BBD (Box-Behnken tasarımı) ile araştırmışlardır. Araştırma sonucunda su kaybı ve ağırlık azaltma değerleri verilerini kullanarak kriter sayısı fazla olan bir optimizasyon oluşturmuşlardır.

Can (2017), püskürtmeli kurutma koşullarında tepki yüzey metotlarını kullanarak çilek ve yaban mersini özlerini kurutmuştur. Çalışması neticesinde meyve tozu üretiminde en önemli değişkenin özkütle değişiminin olduğunu, çilek tozu üretiminde verimliliğin % 72.62 olarak gerçekleştiğini tespit etmiştir.

Prosapio ve Norton (2017), kurutma işlemi öncesinde uygulanan osmotik rehidrasyon işleminin ETÜV ve dondurarak kurutma işlem verimliliğine etkisini çilek örneklerini kullanarak incelemiştir. Çalışmaları neticesinde ön işlemin çilek örneklerinin özelliklerinin korunmasını sağladığı ve kurutma süresini kısalttığını belirlemişlerdir.

Araştırmacılar kurutma amacıyla güneş enerjisi ile çalışan birçok farklı kollektör tasarımı gerçekleştirmiştir (Gülçimen, 2008; Bilgiç, 2014; Bayrak, 2021). Yapılan tasarımlar ile kollektörlerin

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1349680

ısl verimlerinin artması sağlanarak tarımsal ürünlerin kurutulmasında güneş enerjili kurutucuların kullanımı yaygınlaşmıştır.

Cankurtaran (2018), tasarladığı Güneş enerjili kurutma düzeneğinde 3 mm kalınlıktaki çilek örneklerinin kurutma özelliklerini incelemiştir. Kurutma deneylerinde 51°C sıcaklıkta çileklerin kuruma sürelerinin 6-8 saat olarak belirlemiş ve tasarladığı kurutma sisteminin çilek örneklerinin kalitesine olumlu bir yönde etkisi olduğu tespit etmiştir.

Çakmak (2019), çilek kurutulması için en uygun kurutma yöntemini tespit etmek için çalışma yapmıştır. Çalışması sonucunda kurutma süreleri baz alındığında laboratuvar tipi konvektif kurutucuda 70°C' de 4.5 saat ile en kısa sürede kurduğunu ve doğal kurutmada bu sürenin 52 saat olduğunu tespit etmiştir.

Demir (2021), farklı büyüklükteki taş ve metal parçalarından oluşan enerji depolamalı bir Güneş enerjili kurutma sisteminde çilek örneklerinin kurutma performansını araştırmıştır. Farklı fan hızlarında yaptığı deneyler sonucunda 1.5 m/s hava hızında çilek örneklerinin 31 saatte kurduğunu tespit etmiştir.

Jiahui Jiang ve arkadaşları (2021), çilek örneklerinin özelliklerini çeşitli güçte mikrodalga kurutucusunda kurularak karşılaştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda USOD(Ultrasonik Ozmotik Dehidrasyon) işleminin düşük şeker oranına sahip çilekler için elverişli olduğunu, bu işlemin mikrodalga ile kurutma işlem süresini %45 civarında azalttığını ve kurutma oranını artırdığını belirlemişlerdir.

Fauzi (2020), çalışmasında 2m baca yüksekliğine ve 4.05m² kolektör alanına sahip güneş bacası prototipini kullanarak şeftali ve muz meyvelerinin kurutulması için en uygun matematiksel modelin seçilmesi üzerine çalışma yapmıştır. Doğrusal olmayan regrasyon çalışması neticesinde muz örnekleri için en uygun modelin Midilli ve Küçük modelinin, şeftali örneklerinin kurutulması için en uygun modelin Verma ve ark. Modeli olduğunu tespit etmiştir.

Chueaprasat ve ark. (2020), yaptıkları çalışmalarında Güneş bacası ile tarım ürünlerinin kurutulmasını incelemiş ve nem giderme oranına bağlı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelin deneysel sonuçlar ile uyumlu

olduğunu ve özel bir kurutma kapasitesi tasarımında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada ise Güneş bacası sera örtü alanında farklı boyutlarda dilimlenmiş çilek örnekleri kurularak Güneş bacası sera örtü alanlarının tarım ürünlerinin kurutulması açısından uygunluğu irdelenmiştir. Aynı zamanda Güneş bacası sera örtüsü altındaki kurutma işlemi ile doğal kurutma performansları karşılaştırılmıştır ve sera örtü alanında en ideal kurutma bölgesi araştırılmıştır (Çetinbaş, 2022).

MATERYAL VE YÖNTEM

Deneysel çalışma Batman Üniversitesi Batı Raman yerleşkesi içerisinde yer alan Güneş bacası prototipinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği Batman ili 41°10' - 41°40' doğu boylamları ile 38° 40' - 37° 50' kuzey enlemleri arasında yer alan, 550 m rakıma sahip bir şehirdir. Genel olarak yaz aylarının çok sıcak ve kurak geçtiği, karasal iklim özelliklerinin hüküm sürdüğü ve Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre de yarı kurak, 3. Derece mezotermal (D,B³,s,b²) olarak nitelendirilen iklim özelliklerine sahiptir (Anonim, 2022).

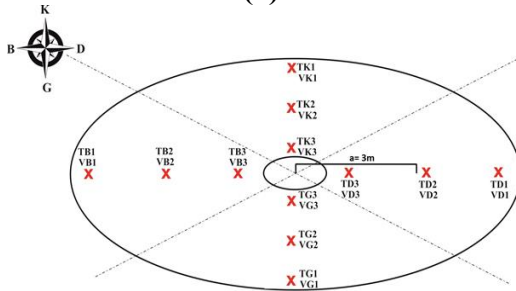
Deneyslerimizde Batman ilinin Sason ilçesine özgü olan ve 2018 yılında AB Coğrafi İşaret Tescil Belgesine sahip, nem oranı yaklaşık %89 olan Albion cinsi çilekler kullanılmıştır. Bu tür çilekler dayanıklı olması, taşıma ve depolama kolaylığı nedeniyle çokça tercih edilen ve yüksek rakımlı bölgelerde yetiştirilen bir çilek türüdür.

Deneysel Yöntem

Deneysel çalışma Şekil 1. (a) 'da gösterilen 105.68 m² kolektör alanına, 11.5 m baca uzunluğuna sahip Güneş bacası prototipi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Güneş bacası kolektör alanında kurutma işlemi gerçekleştirilmeden önce en ideal kurutma bölgesi seçimi için Güneş bacası kolektör alanı 4 farklı yöne ayrılmıştır. Ayrılan her yönde belirlenen ve Şekil 1. (b)'de gösterilen 12 farklı noktada 3mm, 5mm, 7mm kalınlıktaki çilek dilimleri ve bütün halde çilekler kurutulmuştur. Kurutma işlemleri boyunca belirlenen noktalarda kurutma hava sıcaklıkları, kurutma hava hızları, kurutulan çileklerin kütle değişimleri ve güneş radyasyonu ölçümleri yapılmıştır.



(a)



Üst Görünüş

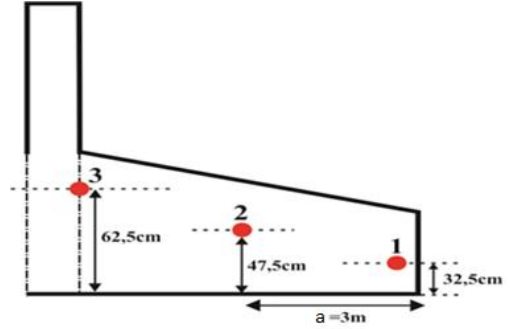
(b)

Şekil 1. (a): Çalışmanın yapıldığı Güneş Bacası
(b): Güneş bacası örtü alanında ölçüm alınan noktalar

Kurutma işleminde kullanılacak çilekler sabah erken saatlerde toplandıktan sonra saplarından arındırılarak temizlenmiştir. Daha sonra temizlenen çilekler belirli kalınlıklarda (3mm, 5mm, 7mm) dilimlenmiş ve kurutma yapılacak olan her noktaya 1000gr çilek örnekleri Şekil 2.'de gösterildiği gibi konumlandırılmıştır. Kurutma işlemine etki eden en önemli etkenlerden biri olan kurutma hava hızından en iyi şekilde yararlanabilmek ve homojen kurumayı gerçekleştirebilmek için hazırlanan çilek örnekleri Şekil 2.'de gösterildiği gibi farklı yükseklikte konumlandırılmıştır. Ayrıca çilek örnekleri toz ya da böceklerden etkilenmemek ve homojen bir hava sirkülasyonu sağlamak amacıyla file üzerine bırakılmıştır.

Kurutma işlemleri Ağustos ayında 10.00-20.00 saatleri arasında global güneş radyasyon değerlerinin birbirine çok yakın olduğu dört gün boyunca her kalınlıktaki çilek örnekleri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık aynı boyutta bütün çilek örneklerinin kolektör alanında kurutulduğu gün aynı zamanda güneş bacasının yanında güneşte (doğal) kurutma da gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemleri boyunca her 30 dakikada bir alınan ölçümler

kaydedilmiştir. Kurutulan çilek örneklerinin kütleleri 110gr'a düştüğünde, kütle değişimleri neredeyse durma noktasına geldiğinden dolayı kurutma işlemleri sonlandırılmıştır.



Şekil 2. Çilek örneklerinin kolektör alanında konumlandırılması

Hesaplama Yöntemi

Kurutma işleminin temelinde kurutulacak ürün içerisindeki suyun uzaklaştırılması olduğundan ürün içerisindeki suyun yani nem miktarının değişimi önemlidir. Ürün içerisindeki nem içeriği hesaplama bağıntısı Eşitlik 1.'de, yüzdelik nem değişimi hesaplama bağıntısı ise Eşitlik 2.'de gösterilmiştir.

$$Nem İçeriği = (m_t - m_e) / m_e \quad (1)$$

$$Nem Değişimi(\%) = \frac{m_s}{m_{ilk}} \times 100 = \frac{m_t - m_e}{m_s + m_e} \times 100 \quad (2)$$

Kurutma deneylerinde hesaplanan başka bir parametrede nem oranı (MR)'dir. Nem oranı kurutulmuş ürün içerisinde belirli bir andaki nem miktarının kurutma ürününün başlangıç nem miktarına oranı olarak ifade edilir ve Eşitlik 3.'te gösterildiği gibi hesaplanır.

$$Nem Oranı (MR) = (m_t - m_e) / (m_{ilk} - m_e) \quad (3)$$

Denklemlerde m_{ilk} kurutulmuş ürünün ilk kütlelerini (kg), m_s kurutulmuş ürün içerisindeki su kütlelerini (kg), m_t herhangi bir t anındaki ürün kütlelerini (kg), m_e kuru ürün kütlelerini (kg) ifade etmektedir.

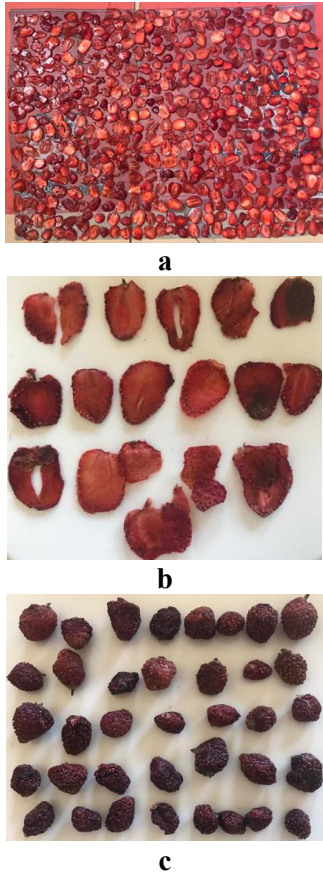
Kurutma işlemlerinde önemli bir gösterge olan kurutma hızı ürün içerisindeki nem miktarının uzaklaştırma hızı olarak tanımlanabilir ve Eşitlik 4.'te gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$\text{Kuruma Hızı} = (N_t - N_{t+\Delta t})/N_t \quad (4)$$

Kuruma hızı denkleminde N_t herhangi bir t anında ürünün kuru baza göre nem içeriğini ($\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{kati}}$), $N_{t+\Delta t}$ ise belirli bir süre sonra yapılan ölçüm anında ürünün kuru baza göre nem içeriğini ($\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{kati}}$) ifade etmektedir (Gülçimen, 2008).

BULGULAR VE İRDELEME

DeneySEL çalışma Batman ili iklim koşullarında kurulu olan ve ısı birikiminin artırılması amacıyla kolektör alanı siyah boya ile boyanmış, zeminden sıcak su geçirilen güneş bacası prototipinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan çilek örneklerinin nem miktarı %89 olarak belirlenmiştir. Kurutma deneylerinde kullanılan Sason çileklerinin kurutma öncesi ve kurutma sonrasına ait görseller Şekil 3.'de gösterilmiştir.



Şekil 3. (a) : Dilimlenmiş yaş çilek örnekleri
(b) : Kurutulmuş çilek örnekleri
(c) : Bütün halde Kurutulmuş çilek örnekleri

Sıcaklık ölçüm verileri incelendiğinde (Şekil 4.); -3 mm çilek örnekleri için yapılan deneylerde güneş bacası sera alanı sıcaklığının $27.3\text{ }^{\circ}\text{C} - 53.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında olduğu ve en yüksek sıcaklık noktası G3 noktasında sıcaklığın ortalama $49.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmüştür (Şekil 4.a).

-5 mm çilek örnekleri için yapılan deneylerde güneş bacası sera alanı sıcaklığının $28.2\text{ }^{\circ}\text{C} - 54.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında olduğu ve en yüksek sıcaklık noktası G3 noktasında sıcaklığın ortalama $50.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmüştür (Şekil 4.b).

-7 mm çilek örnekleri için yapılan deneylerde güneş bacası sera alanı sıcaklığının $27.9\text{ }^{\circ}\text{C} - 54.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında olduğu ve en yüksek sıcaklık noktası G3 noktasında sıcaklığın ortalama $49.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmüştür (Şekil 4.c).

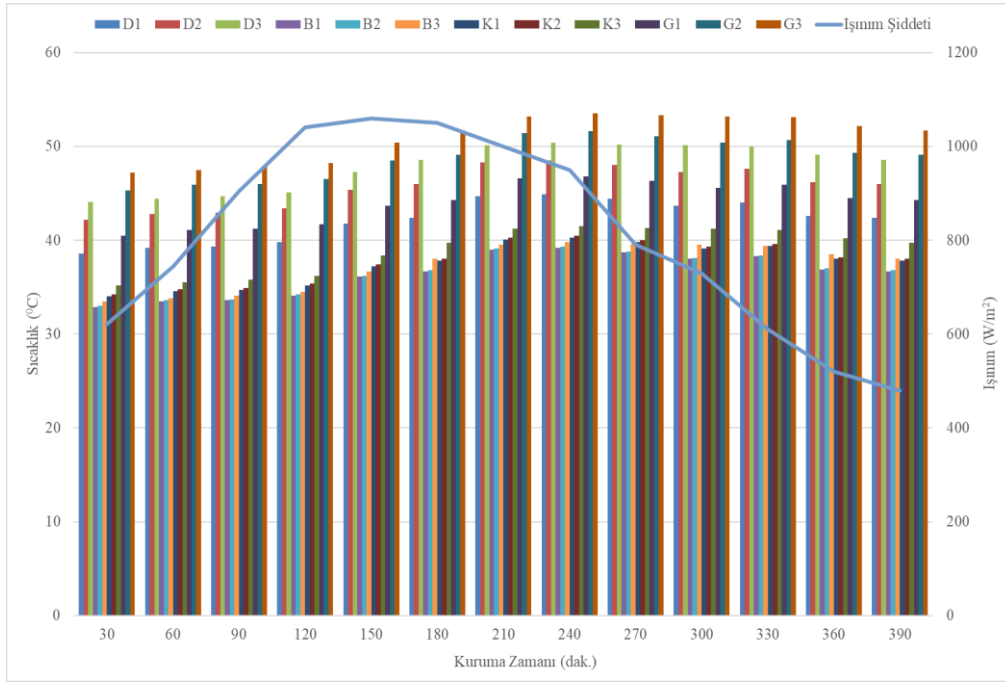
- Bütün haldeki çilek örnekleri için yapılan deneylerde güneş bacası sera alanı sıcaklığının $29.3\text{ }^{\circ}\text{C} - 55.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında olduğu ve en yüksek sıcaklık noktası G3 noktasında sıcaklığın ortalama $51.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmüştür (Şekil 4.d).

- Bütün haldeki çilek örneklerinin açık aynı günde açık alanda kurutulduğu doğal kurutmada hava sıcaklığının $11.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değiştiği ortalama hava sıcaklığının ise $31.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ görülmüştür.

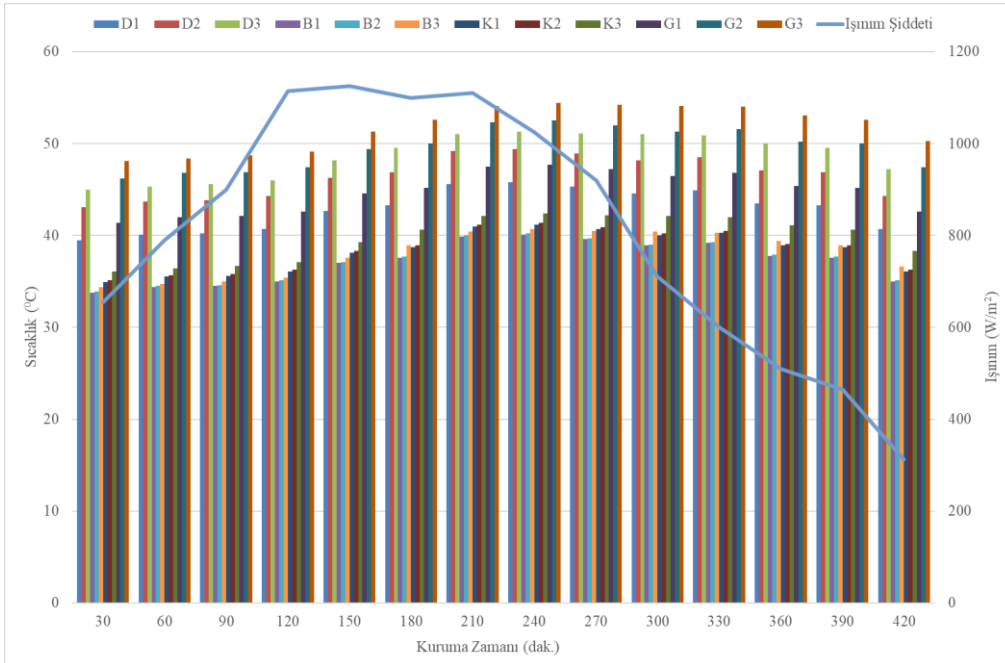
Ayrıca ışınım şiddeti değerlerinin sabah saatlerinde $620-1050\text{ Wm}^{-2}$ arasında değiştiği, öğle saatlerinde ise $1050-1165\text{ Wm}^{-2}$ ile en yüksek değerlere ulaştığı akşam saatlerinde ise güneş radyasyonunun azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 4.'te gösterilen grafiklerde kurutmanın gerçekleştiği zamanlarda en yüksek sıcaklık değerlerinin 210-360 dakikalar arasında olduğu ışınım değerinin en yüksek olduğu zaman aralığının ise 120-210 dakikalar arasında olduğu görülmektedir. Güneş ışınımının güneş bacası sisteminin kolektör alanına dahil olması zaman aldığından en yüksek ışınım ve sıcaklık zaman aralıklarının birbirinden farklı olmasına neden olmaktadır.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1349680

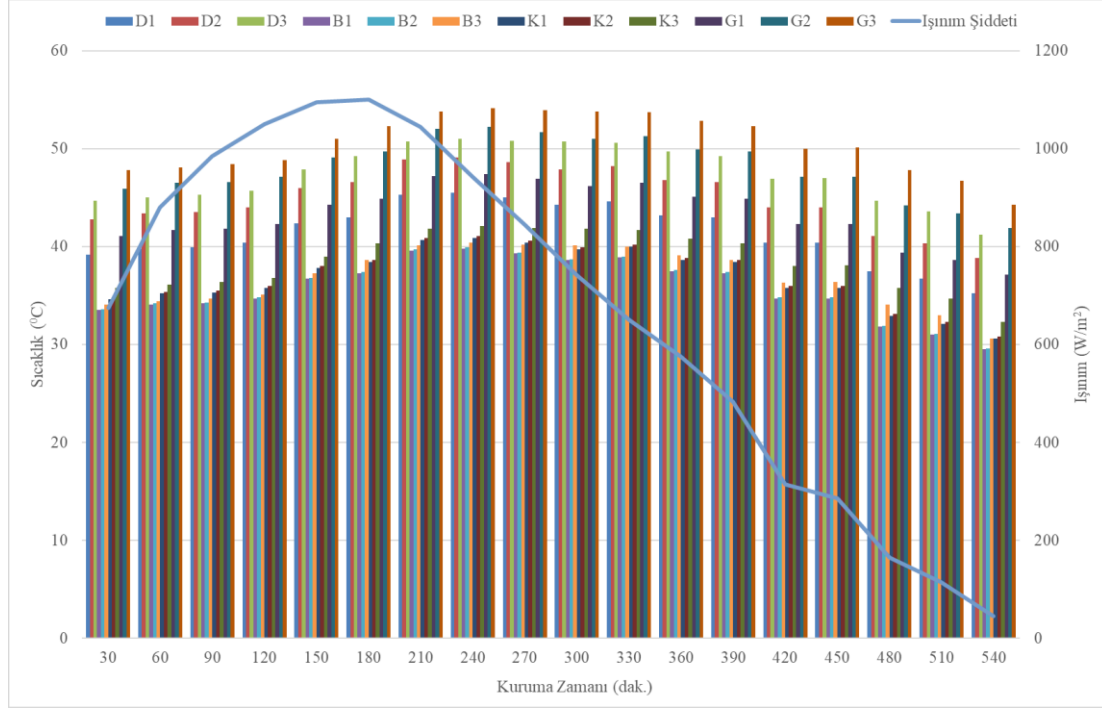


a

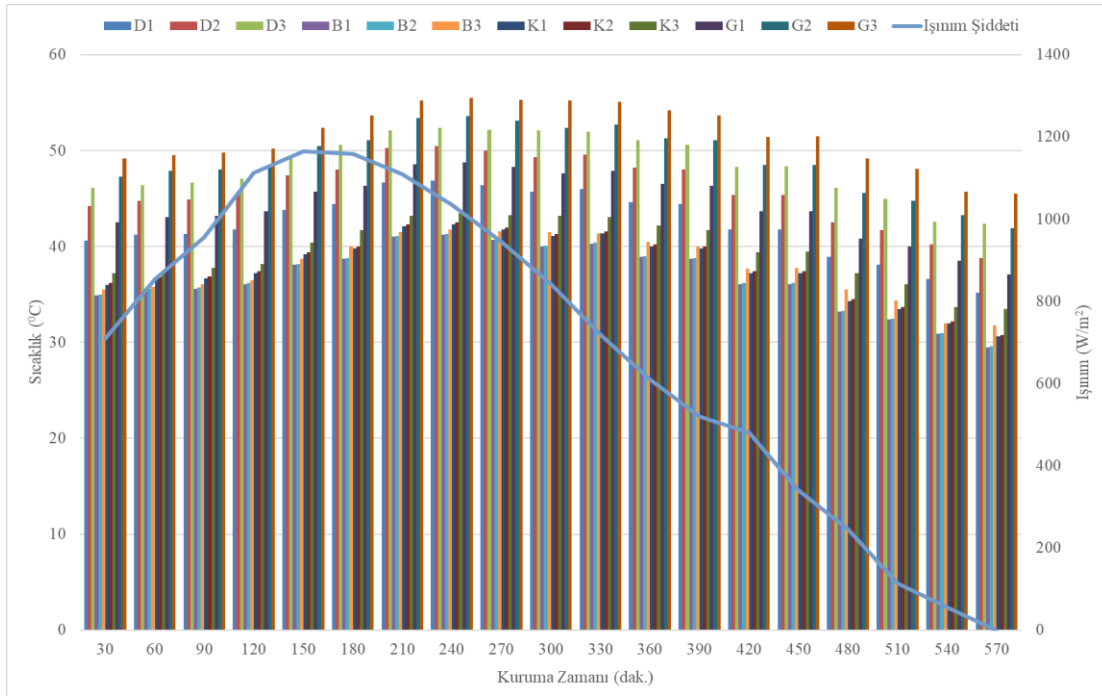


b

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1349680



c

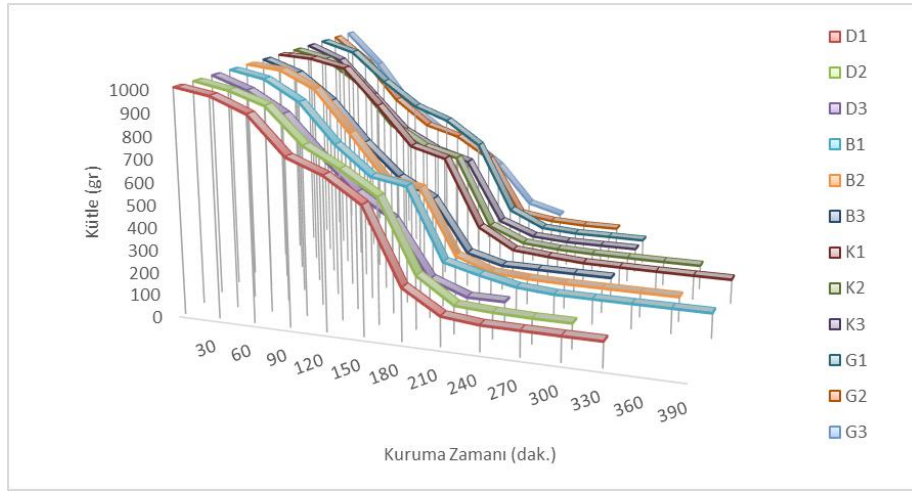


d

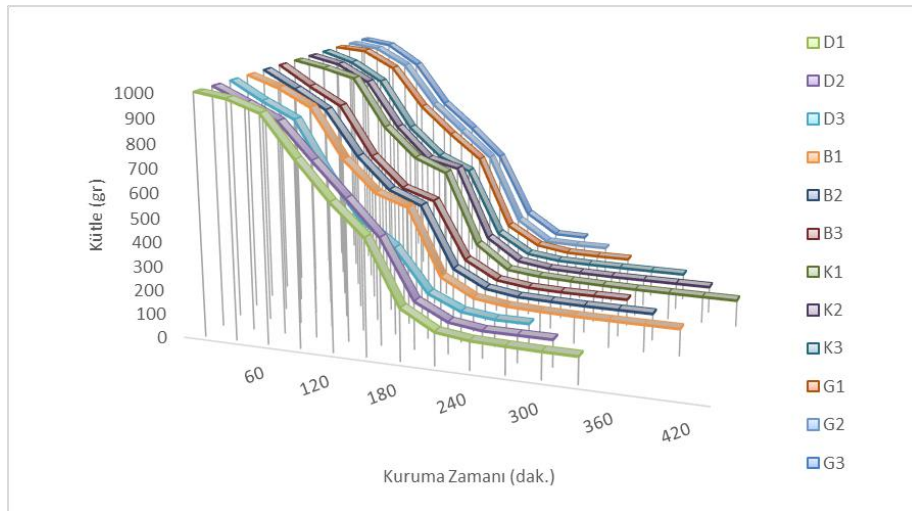
Şekil 4. Kurutma deneylerinin yapıldığı noktalara ait Sıcaklık- Kuruma zamanı grafiği

- (a): 3 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
 (b): 5 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
 (c): 7 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
 (d): Bütün çilek örneklerinin kurutulduğu durumda

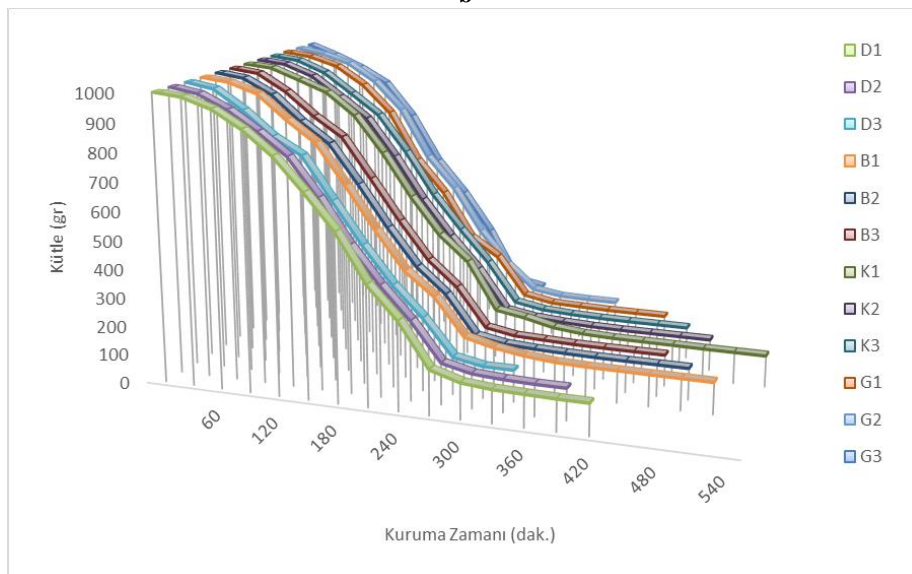
Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1349680



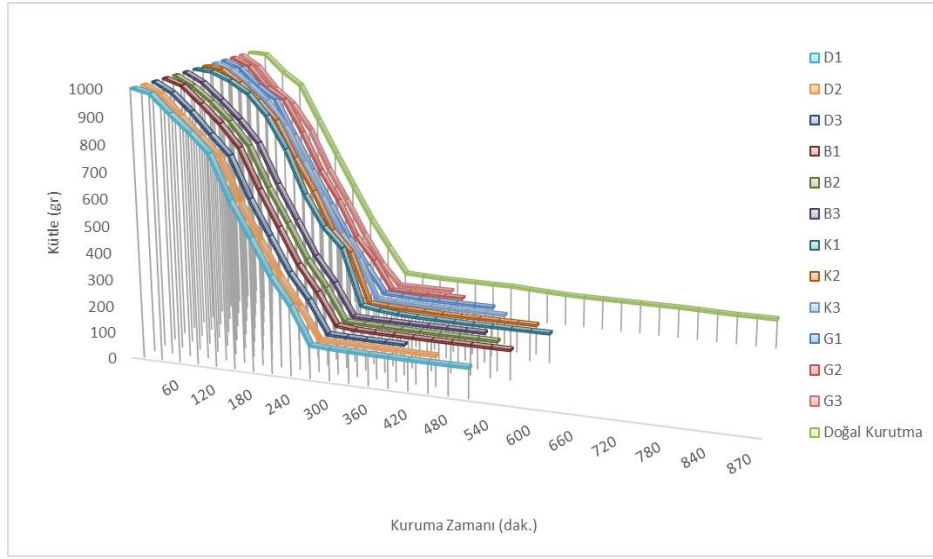
a



b



c



d

Şekil 5. Kurutulan çilek örneklerinin Kütle değişimi- Kuruma Zamanı grafikleri

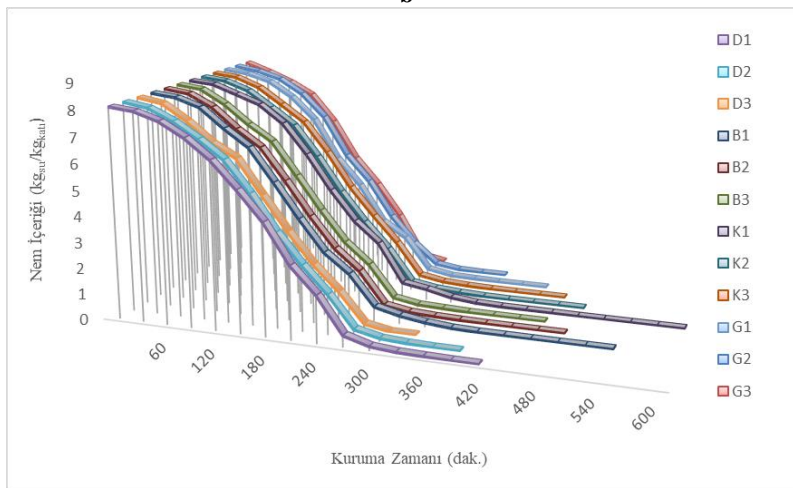
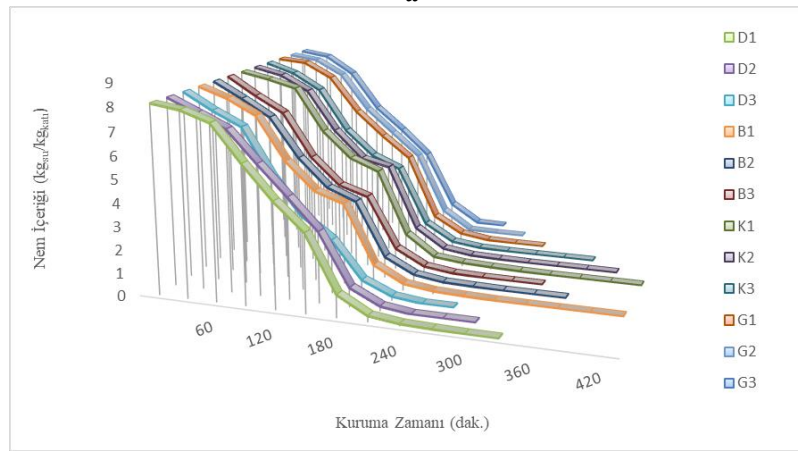
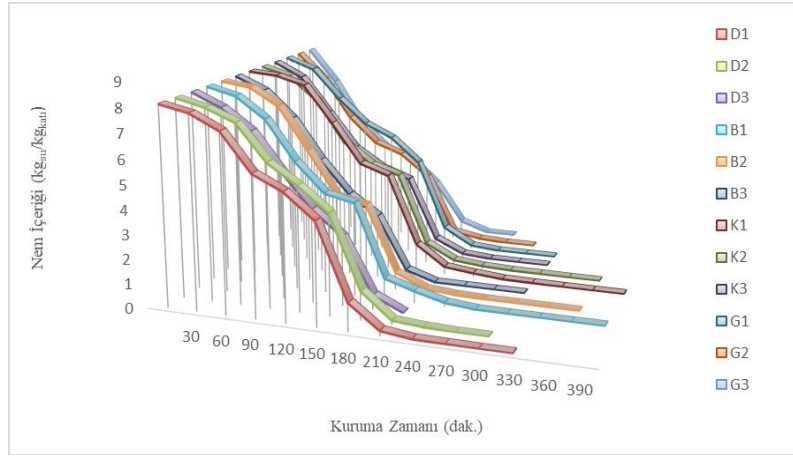
- (a):** 3 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
- (b):** 5 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
- (c):** 7 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
- (d):** Bütün çilek örneklerinin kurutulduğu durumda

Kurutma deneyleri çilek örneklerindeki kütle değişimlerinin durma noktasına geldiği ana kadar devam ettirilmiştir. Şekil 5.'te görüldüğü gibi 3 mm kalınlığındaki çilek örneklerinin kütle değişimleri 210. dakikaya kadar, 5 mm kalınlığındaki çilek örneklerinin kütle değişimleri 240. dakikaya kadar, 7 mm kalınlığındaki çilek örneklerinin kütle değişimleri 270. dakikaya kadar, bütün halde kurutulan çilek örneklerinin kütle değişimleri 300. dakikaya kadar hızlı bir şekilde azalırken bu dakikalardan sonra kurutma işleminin durma noktası olan 110 grama yaklaştıkça kütle değişimleri nispeten daha düşük bir değişim göstermiştir.

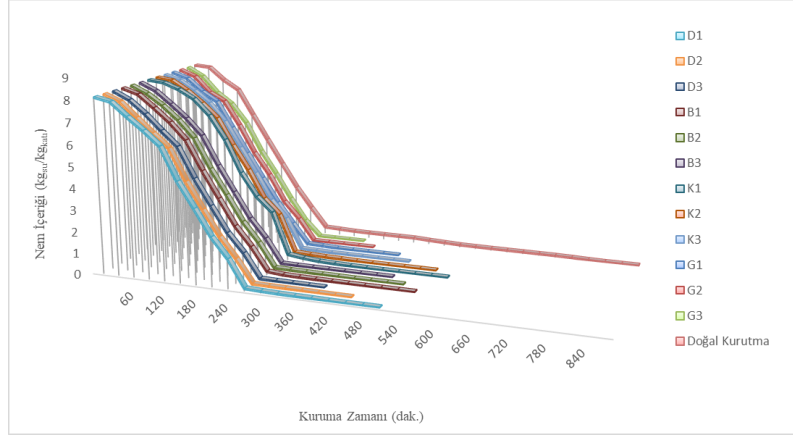
Tüm çilek örneklerinde (3mm, 5mm, 7mm ve bütün) yapılan deneylerde güney yönündeki baca giriş bölgesi kuruma zamanlarının daha düşük olduğu görülmüştür. Bütün noktadaki kuruma zamanları Tablo 1.'de detaylı olarak verilmiştir.

Yaş çilek örneklerindeki nem içeriğinin kuru çilek örneklerindeki nem miktarına oranı 8.09 olarak hesaplanmıştır. Şekil 6.'da görüldüğü gibi çilek örneklerindeki nem miktarı belirli bir zamana kadar sürekli azalmakta ve çilek örnekleri denge nemine ulaştıklarında ise nem içeriği sıfıra inmektedir.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1349680

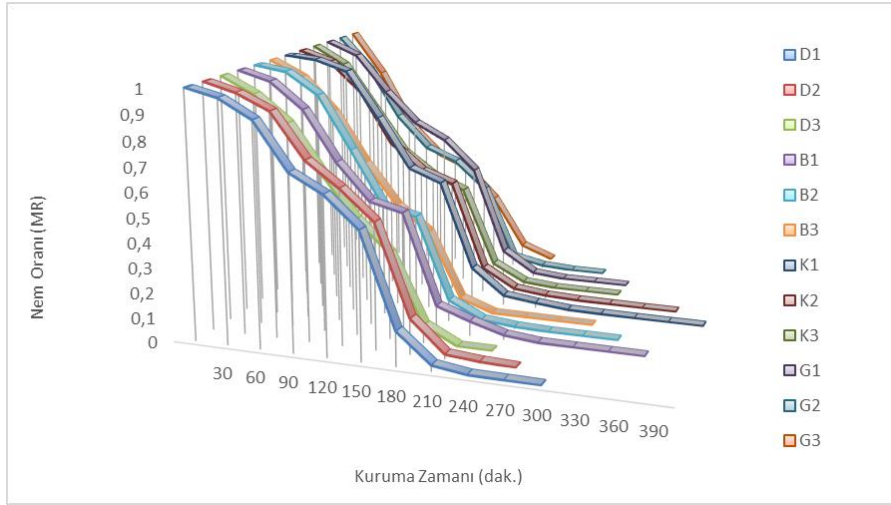


Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1349680



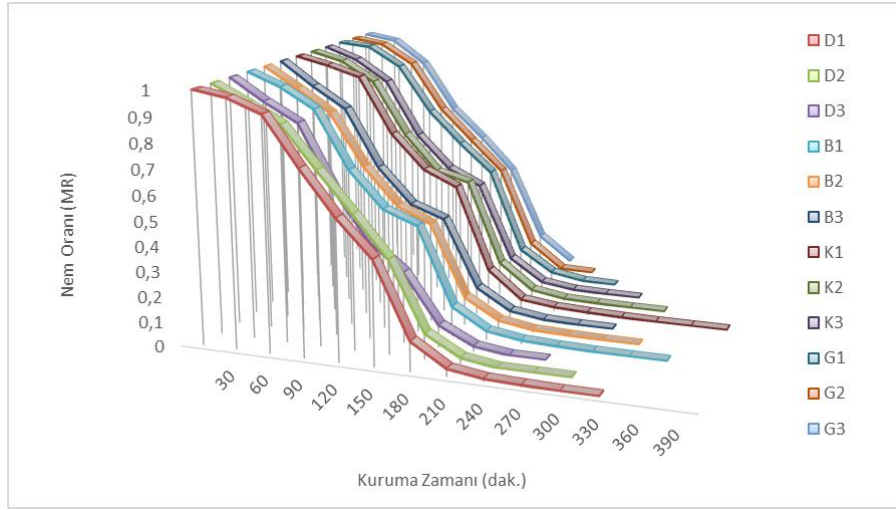
d

Şekil 6. Kurutulan çilek örneklerinin Nem İçeriği- Kuruma Zamanı grafikleri
(a): 3 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
(b): 5 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
(c): 7 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
(d): Bütün çilek örneklerinin kurutulduğu durumda

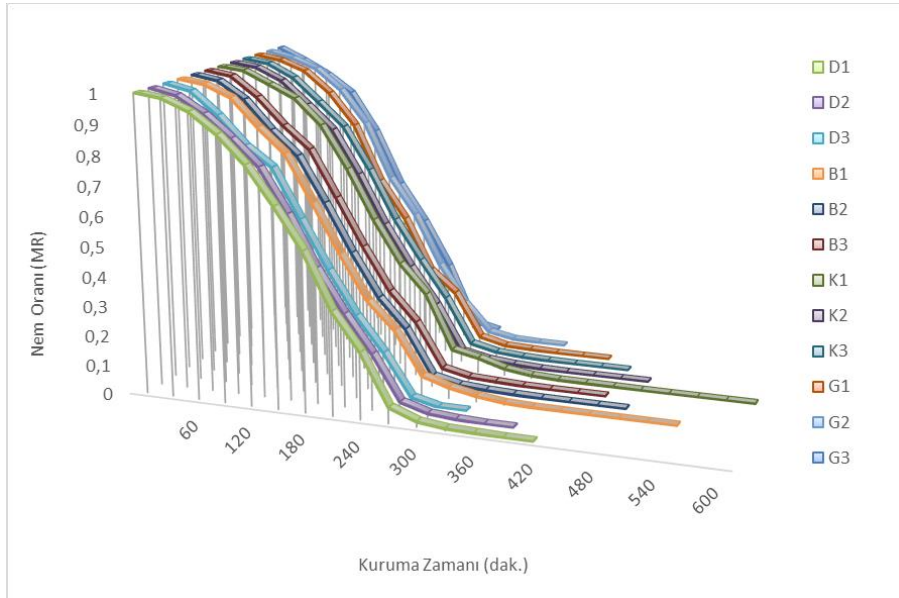


a

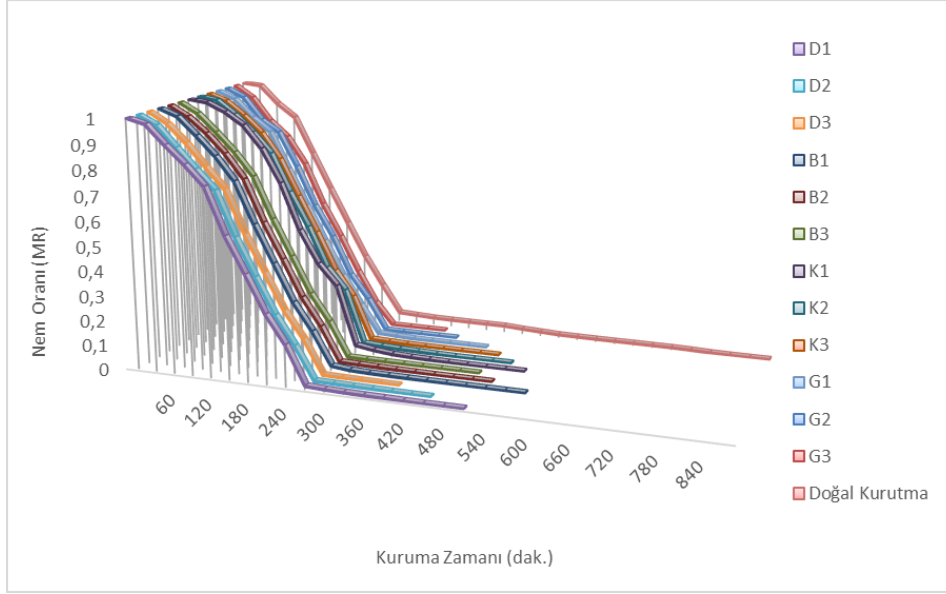
Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1349680



b



c



d

Şekil 7. Kurutulan çilek örneklerinin Nem Oranı (MR) - Kuruma Zamanı grafikleri

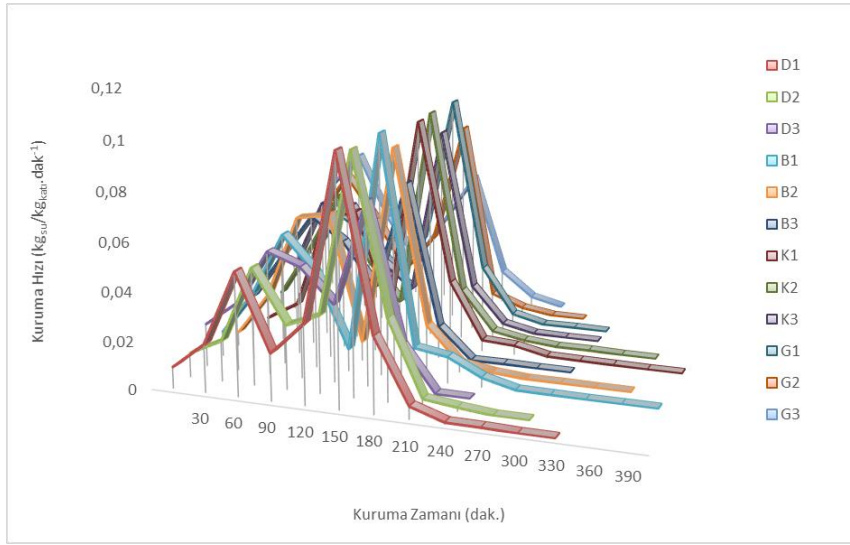
- (a): 3 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
(b): 5 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
(c): 7 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
(d): Bütün çilek örneklerinin kurutulduğu durumda

Boyutsuz bir kavram olan nem oranı (MR), kurutulan örneklerde herhangi bir andaki nem miktarının başlangıç nem miktarına oranlanmasıyla elde edilir. Şekil 7.'de de görüleceği üzere 3 mm kalınlıktaki örneklerde 180. dakika öncesinde, 5 mm kalınlıktaki örneklerde 210. dakika öncesinde, 7 mm kalınlıktaki örneklerde 270. dakika öncesinde, bütün şeklinde kurutulan çilek örneklerinde ise 270. dakika öncesinde nem oranı sürekli azalmakta, sonrasında ise MR değişiminin azaldığı görülmektedir.

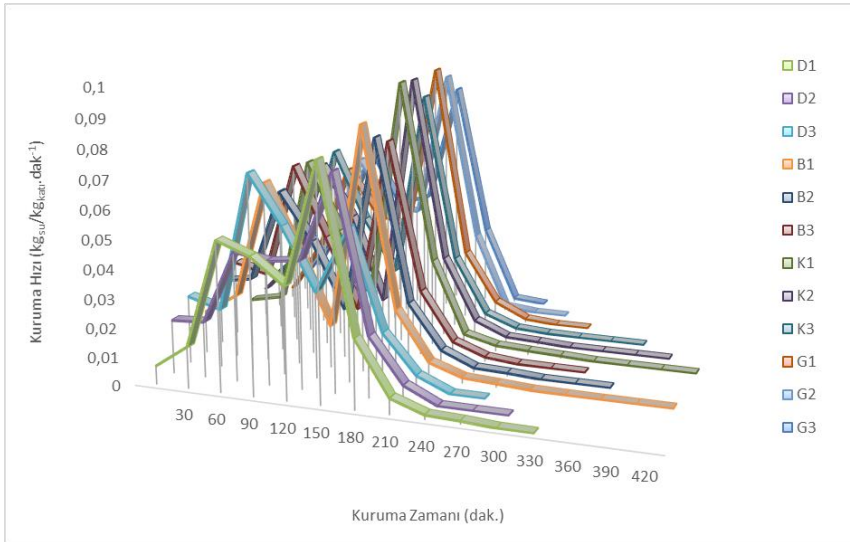
Ürünlerin kurutulması işlemlerinde dikkat edilmesi gereken en önemli değişkenler kurutma hava hızı ve hava sıcaklığıdır. Çileklerin kurutulması sırasında Şekil 8.'de de görüleceği üzere kurutma hızında değişiklikler görülmektedir. Bu değişikliğin başlıca nedeni kurutma işlemi boyunca kurutma hava sıcaklığı ve hava hızının güneş ışınımına bağlı olarak değişkenlik göstermesidir. Yapılan hesaplamalar sonucunda kurutma hızı en yüksek $0.1008 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{kati}}.\text{dak.}^{-1}$ olarak 3 mm kalınlıktaki çilek

örneklerinin kurutulması sırasında Güney yönünün baca giriş bölgesindeki noktada ölçülmüştür. Ayrıca yapılan tüm ölçümlerde her türlü kalınlıktaki çilek örneklerinde kuruma hızı en fazla güney yönünün baca giriş bölgesindeki noktada ölçülmüştür. Kurutma işlemlerinde belirli sürelerden sonra örneklerin barındırdığı nem içeriklerinin birbirlerine eşit olacağından dolayı kurutma hızları da birbirlerine eşit olduğu görülmektedir. Ayrıca her kalınlıktaki çilek örneklerinde en fazla olan kurutma hızları karşılaştırıldığında bu değerlerin 3 mm çilek örnekleri için $0.1008 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{kati}}.\text{dak.}^{-1}$ olduğu, 5 mm çilek örnekleri için $0.093 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{kati}}.\text{dak.}^{-1}$ olduğu, 7 mm çilek örnekleri için $0.055 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{kati}}.\text{dak.}^{-1}$ olduğu, bütün halde kurutulan çilek örnekleri için $0.065 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{kati}}.\text{dak.}^{-1}$ ve bütün halde güneşte (doğal) kurutulan çilek örnekleri için $0.040 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{kati}}.\text{dak.}^{-1}$ olduğu tespit edilmiştir. Maksimum kuruma hızları karşılaştırıldığında kalınlık arttıkça kuruma hızının azaldığı görülmektedir.

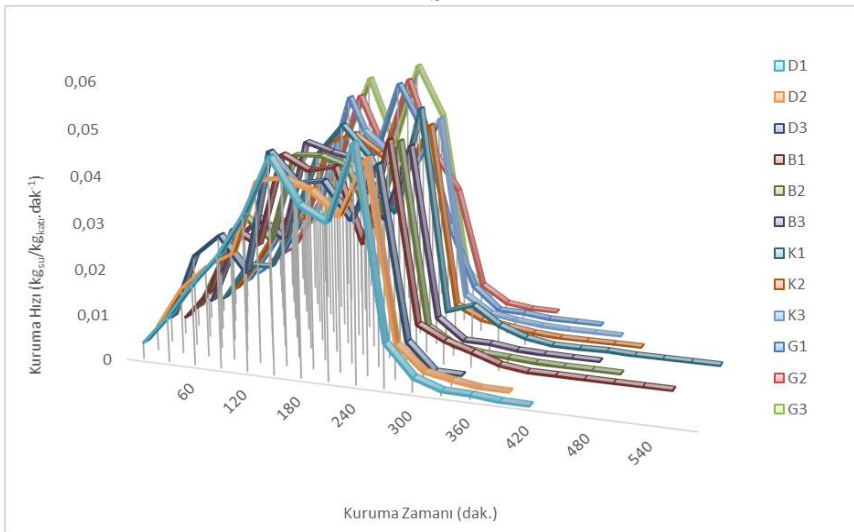
Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1349680



a

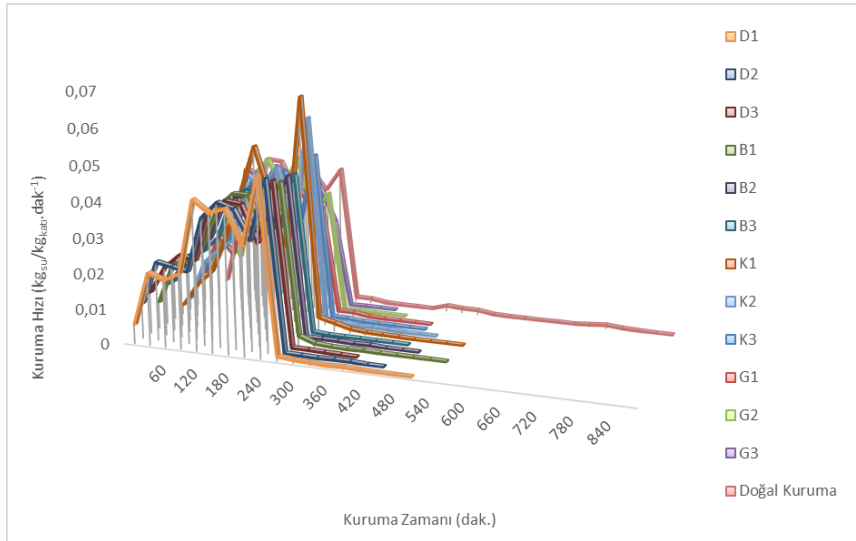


b



c

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1349680



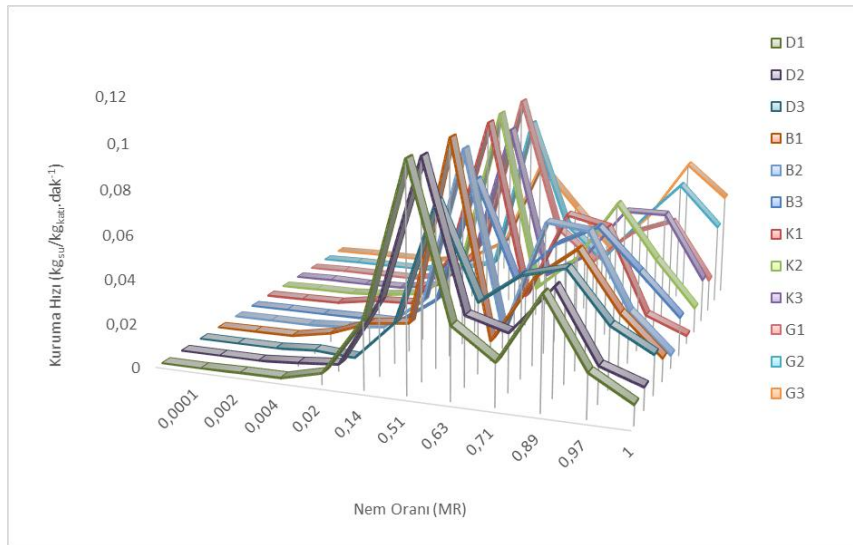
d

Şekil 8. Kurutulan çilek örneklerinin Kuruma Hızı - Kuruma Zamanı grafikleri
(a): 3 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
(b): 5 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
(c): 7 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
(d): Bütün çilek örneklerinin kurutulduğu durumda

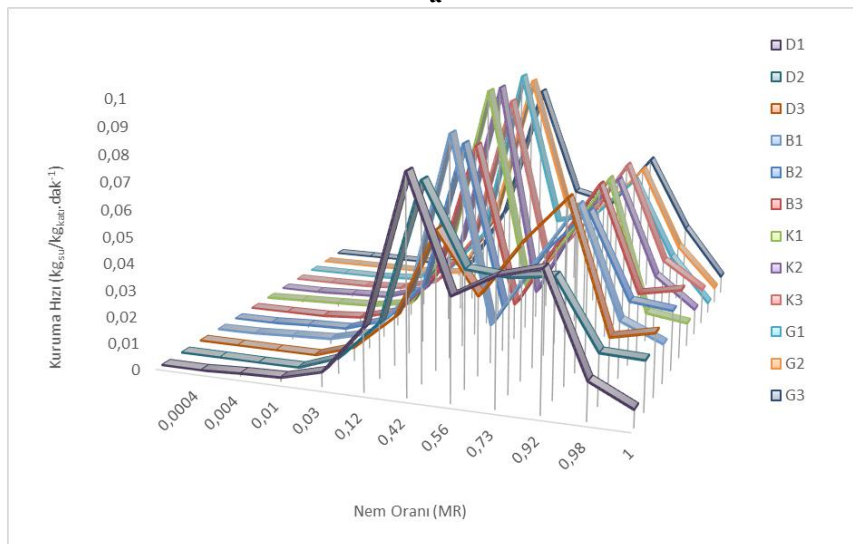
Şekil 8.'deki kuruma hızının kuruma zamanına göre değişimini gösteren grafik ile Şekil 9.'daki kuruma hızının nem oranına göre değişimini gösteren grafikler birlikte değerlendirildiğinde kurutma hava hızı ve sıcaklığındaki artışa paralel olarak kurutma hızında da artış gözlenmiştir. Daha sonrasında ise çilek örneklerinde bulunan nem miktarının azalması hava sıcaklığı ve hava hızından daha etkin bir parametre haline geldiğinden kurutma hızında bir

düşüş gerçekleşmiştir. Kurutma işleminde sistem dengeye ulaştığında ise sıcaklık ve hava hızı tekrardan daha etkin bir parametre haline geldiğinden kurutma hızında tekrardan bir artış söz konusu olmuştur. Kurutma işleminin sonlarına doğru ise hem kurutma hava sıcaklığı ve hızı hem de çilek örneklerindeki nem miktarının giderek azalmasından dolayı kurutma hızında azalmalar olmuştur.

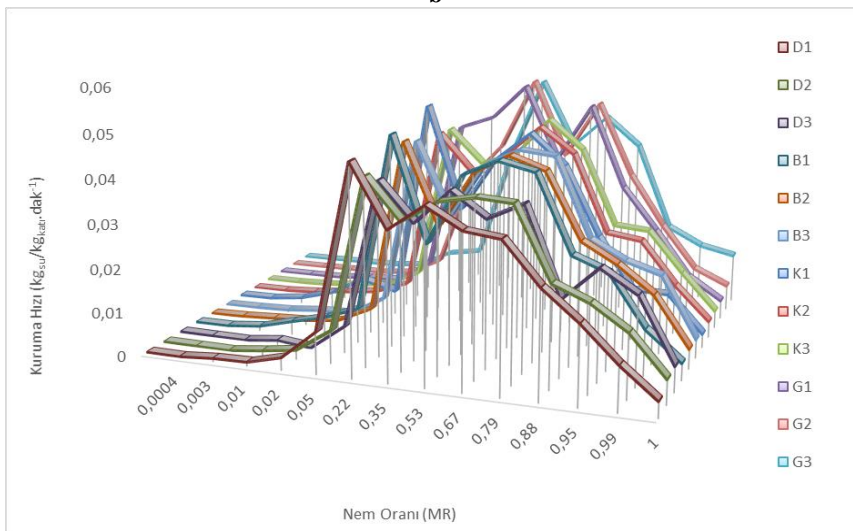
Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1349680



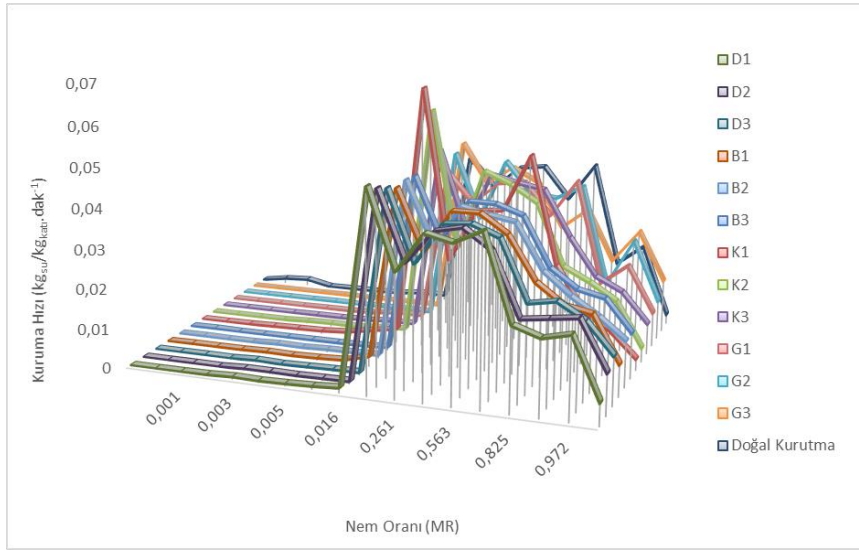
a



b



c



d

Şekil 9. Kurutulan çilek örneklerinin Kuruma Hızı – Nem Oranı (MR) grafikleri
(a): 3 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
(b): 5 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
(c): 7 mm çilek örneklerinin kurutulduğu durumda
(d): Bütün çilek örneklerinin kurutulduğu durumda

Tablo 1.' den ölçüm alınan noktalardaki çilek örneklerinin kuruma sürelerine bakıldığında ölçüm alınan noktalar içerisinde güney bölgesinin baca giriş bölgesi (G3) kuruma sürelerinin ölçüm alınan diğer noktalara göre daha kısa kuruma süresine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca aynı gün kurutma işlemi yapılan ve ölçüm alınan bütün haldeki çilek

örnekleri ile güneşte doğal olarak kurutulan çilek örneklerinin kuruma süreleri karşılaştırıldığında G3 noktasındaki kuruma süresi baz alındığında Güneş bacası sera örtü alanında kurutma süresinin doğal kurutmaya göre yaklaşık %58.6 daha az olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Kuruma sürelerinin ölçüm alınan noktalara göre değişimi

Kurutma Noktası	D1	D2	D3	B1	B2	B3	K1	K2	K3	G1	G2	G3	Doğal Kurutma
3 mm	330	300	240	390	360	300	390	360	300	300	270	210	
5 mm	330	300	270	420	360	330	420	390	360	300	270	240	
7mm	420	390	330	540	480	450	510	480	450	420	360	270	
Bütün	510	450	390	540	510	480	570	540	480	450	390	360	870

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuçlar

Batman ili iklim koşulları altında gerçekleştirildiğimiz deneylerde ısı tutma kapasitesi artırılmış güneş bacası prototipinde coğrafi işaretli bir ürün olan Albion türü Sason çileklerinin kurutma performansı araştırılmıştır.

Yapılan araştırma sonuçlarına göre güneş ışınımına bağlı olarak artan kurutma hava sıcaklığı kurutma süresini kısalttığı belirlenmiştir. Ayrıca kurutulan çilek örneklerinin kalınlıkları arttıkça kuruma süresinin de arttığı, kuruma hızının azaldığı tespit edilmiştir.

Güneş bacası sera örtü alanlarında gerçekleştirilecek olan kurutuma işlemleri için en uygun coğrafi yönün güney yönü olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda kurutma işlemi yapılan ve ölçüm alınan 12 farklı nokta içerisinde kuruma süresinin en az, kurutma hızının en fazla olduğu nokta baca giriş bölgesi olan 3. nokta olduğu saptanmıştır. Güneş bacası örtü alanı altında yapılacak olan kurutma işlemi için en ideal bölge Güney bölgesi baca giriş noktası olan G3 noktası olduğu anlaşılmıştır.

Örtü alanı altında yapılan bütün çileklerin kurutma işlemi ile doğal kurutma işlemi karşılaştırıldığında Güneş bacası örtü alanındaki kurutma süresinin doğal kurutma süresinden daha az bir süre olduğu bu nedenle de Güneş bacası sera örtü alanında kurutma işlemi yapılabileceği görülmektedir.

Güneş bacası sera örtü alanlarında kurutma işlemi için ekstra bir enerji kaynağına ve kurutma alanına ihtiyaç duyulmaması, sadece güneş enerjisi kullanıldığından çevreye zarar vermeyen ve kurutma işleminin kuruma süresi doğal kurutmaya göre daha kısa olması bakımından Güneş bacası sera örtü alanları kurutma işlemi için elverişli bir alan olduğu anlaşılmaktadır.

Öneriler

Güneş bacalarının yapısal özelliklerinden dolayı sera örtü alanındaki sıcaklık çevre sıcaklığından daha yüksek olmasından dolayı örtü alanlarına giriş çıkış yapılabilmesi, ürünlerin yerleştirilmesi ve gerekli ölçümlerin alınabilmesi çeşitli zorluk ve sıkıntılar oluşturabileceğinden ürünlerin yerleştirilmesi ve gerekli ölçümler için kullanılacak hareketli bir raf sistemi yapılabilir.

Yapılan deneysel çalışmalar farklı tarımsal ürünler kullanılarak tekrarlanabilir, farklı iklim koşullarında deney tekrarlanabilir, bu deneysel çalışma farklı kurutma yöntem ve teknikleri ile tekrar edilerek elde edilen deneysel sonuçların karşılaştırılması yapılabilir.

Semboller ve Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
B1	Batı yönündeki 1. Nokta
B2	Batı yönündeki 2. Nokta
B3	Batı yönündeki 3. Nokta
D1	Doğu yönündeki 1. Nokta
D2	Doğu yönündeki 2. Nokta
D3	Doğu yönündeki 3. Nokta
dak	Dakika
G1	Güney yönündeki 1. Nokta
G2	Güney yönündeki 2. Nokta
G3	Güney yönündeki 3. Nokta
gr	Gram
K1	Kuzey yönündeki 1. Nokta
K2	Kuzey yönündeki 2. Nokta
K3	Kuzey yönündeki 3. Nokta
kg	Kilogram
kW	Kilowatt
mm	Milimetre
MR	Nem Oranı

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Batman Üniversitesi BAP tarafından BTÜ BAP-2021-YL-07 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Bu çalışma araştırma ve yayın etiğine uygundur.

KAYNAKÇA

- Adak, N. Heybeli, N. ve Ertekin, C. (2017). Infrared drying of strawberry nafiye. Food Chemistry, 219, 109–16.
- Amami, E. Khezami, W. Mezrigui, S. Badwaik, L. S., Bejar, A. K. Perez, C. T. ve Kechaou, N. (2017). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1349680



- drying of strawberry. *Ultrasonics sonochemistry*, 36, 286–300.
- Anonim, (2022). Meteoroloji genel Müdürlüğü, <https://mgm.gov.tr/iklim/iklimsiniflandirmalari.aspx?m=BATMAN> [Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2022].
- Bayrak, F. (2021). Poroz Kanatçık İlaveli Hava Isıtımlı PV/T Kolektörünün Sürdürülebilirlik İndeksi ve Termodinamik Analizi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7 (3) , 419-428.
- Bilgiç, Y.(2014). Alabalığın yeni tip güneşli kurutucuda kurutulmasında ısı ve kütle transferi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., Elazığ.
- Çetinbaş, A. (2022). Güneş bacası sera örtüsü altında tarım ürünlerinin kurutulması; Batman Sason çileği örneği. Yüksek lisans tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., Batman.
- Can, S. (2017). Spray drying strawberry and blueberry extracts. M.Sc.Thesis, University of Gaziantep, Food Engineering, Gaziantep.
- Cankurtaran, E. (2018). Güneş enerjili kurutma sisteminde çileğin kurutma karakteristiğinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Yezi, Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.
- Chueaprasat, C. Chitsomboon, T. ve Koonsrisuk, A., (2020). Crop Drying Potential of Solar Chimney Dryers, *Suranaree J. Sci. Technol.*, 28, 2.
- Çakmak, N. (2019). Çilek meyvesinin kurutulmasında farklı kurutma yöntemlerinin kuruma performansı ve kalite üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Tokat Gaziosman Paşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.
- Demir, F. (2021). Batman ili şartlarında güneş enerjisi destekli kurutma sisteminde kurutma parametrelerinin incelenmesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Batman.
- Faouzi, N. (2020). Solar thermal drying performance analysis of banana and peach in the region of Gafsa (Tunisia). *Case Studies in Thermal Engineering*, 22, 100-772.
- Gülçimen, F. (2008). Yeni tasarlanan havalı kollektörler yardımı ile reyhan ve nane kurutulması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Jiang, J. Zhang, M. Devahastin, S. ve Yu, D. (2021). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatments on drying and quality characteristics of pulsed fluidized bed microwave freeze-dried strawberries. *Lwt - Food Science and Technology*, 145, 111-300.
- Johnson, A.C. ve Al Mukhaini, E.M.A. (2016). Drying studies on peach and strawberry. *Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 1(special issue 2), 2062 - 2067.
- Prosapio, V. ve Norton, I. (2017). Influence of osmotic dehydration pre-treatment on oven-drying and freeze drying performance. *LWT-Food Science and Technology*, 80, 401-408.
- Schlaich, J. Bergermann, R. Schiel, W. ve Weinrebe, G. (2005). Design of commercial solar updraft tower systems—utilization of solar induced convective flows for power generation. *Journal of Solar Energy Engineering*, 127, 117-124.
- Yağcıoğlu, A. (1999). Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:536. İzmir.
- Yogurtcu, H. (2016). Investigation of Drying Characteristics of Parboiled Wheat Kernel in a Halogen Lamp Dryer and Its Modelling. *International Journal of Pure and Applied Sciences* , 2 (1).

Munzur Üniversitesi Hizmet Binalarının Güç Kalitesi Yönünden İncelenmesi

Gürkan Tam¹, Bilgin Zengin^{2*}

¹Munzur Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tunceli, Türkiye

²Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye

gtam@munzur.edu.tr,  *bilginzengin@munzur.edu.tr 

Makale gönderme tarihi: 09.10.2023, Makale kabul tarihi: 16.12.2023

Öz

Bu çalışmada, Munzur Üniversitesi Kampüs alanında bulunan hizmet binaları güç kalitesi yönünden incelenmiştir. Çalışma kapsamında Munzur Üniversitesi kampüsünde bulunan hizmet binalarından kesintisiz güç kaynağı ve kompanzasyon sistemi bulunduran bir hizmet binası, yalnızca kompanzasyon sistemi bulunduran bir hizmet binası ve hem kesintisiz güç kaynağı hem de kompanzasyon sistemi bulundurmeyen bir hizmet binası olmak üzere toplamda 3 hizmet binası seçilmiştir. Seçilen hizmet binalarına ait akım, gerilim, güç, frekans, güç faktörü, gerilim dengesizliği, akım ve gerilim harmonikleri uluslararası standartlar kapsamında incelenmiştir. İncelenen hizmet binaları için elde edilen sonuçlar, seçilen hizmet binalarının tamamı için güç kalitesi parametrelerinden sadece akım harmoniği problemleri olduğunu göstermiş ve bu problemlerin giderilmesiyle ilgili çözüm önerileri çalışmada sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Munzur Üniversitesi, akım, gerilim, güç, güç kalitesi, harmonikler

Investigation of Munzur University Service Buildings in terms of the Power Quality

Abstract

In this study, service buildings in Munzur University campus area were investigated in terms of power quality. Three different service buildings were selected among the service buildings in the campus area within the scope of our investigation: the first one contains an uninterruptible power supply as well as compensation system, the second one contains only a compensation system, finally the third one is a service building without both an uninterruptible power supply and compensation system. we first measured the corresponding current, voltage, power, frequency, power factor, voltage imbalance, current as well as voltage harmonics of the structures. Current, voltage, power, frequency, power factor, voltage imbalance, current and voltage harmonics of selected service buildings were examined within the scope of international standards. The data obtained for the power quality parameters for the examined service buildings showed that all of the selected structures only contain current harmonic problems and suggestions for solutions to the related problems are presented in the study.

Keywords: Munzur University, current, voltage, power, power quality, harmonics

GİRİŞ

İnsanların günlük yaşamlarında ihtiyacı olduğu en önemli kaynaklardan biri elektrik enerjisidir. Teknolojinin gün geçtikçe ilerlemesi ve nüfus artışı elektrik enerjisine olan talebi arttırmıştır. Elektrik enerjisinin kullanıcılara kaliteli bir biçimde sunulması ulusal ve bölgesel kalkınmaya önemli katkılar sağlamaktadır (Kaymaz ve ark., 2017).

Üretilen elektrik enerjisinin son kullanıcıya ulaştırılmasında dikkat edilecek en önemli nokta üretilen enerjinin en az kayıpla, güvenli ve kaliteli şekilde dağıtımının sağlanmasıdır. Ancak üretilen elektrik enerjisinin karakteristiği ile son kullanıcıya

dağıtılan elektrik enerjisi karakteristiği arasında, elektrik enerjisine olan talebin artması, elektrik enerjisine olan talepteki artışa rağmen elektrik üretim, iletim ve dağıtım altyapısının aynı hızla gelişmemesi, gelişen teknolojiyle birlikte mikroişlemci ve yarı iletken tabanlı yüklerin kullanımının yük karakteristiklerinin değişimine yol açması, değişken üretim karakteristiğine sahip güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin elektrik şebekelerine nüfuz etmesi, elektrik enerjisinin üretiminden dağıtımına kadar kullanılan kablunun uzunluğu, kesit alanı ve

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1373319

malzemenin direnci ile şebekede kullanılan trafo merkezleri, dağıtım merkezleri, dağıtım transformatörleri, orta ve alçak gerilim hatlarının kullanılması gibi nedenlerden dolayı farklılıklar meydana gelebilmektedir (URL-1).

Elektrik enerjisinin karakteristiğinde değişimlerin ortaya çıkması nedeniyle güç kalitesi kavramı önem kazanmaktadır. Güç kalitesi denilince akla ilk olarak gerilim kalitesi gelmesine rağmen, son kullanıcı yüklerinin veya elektrik şebekesine bağlı ekipmanların önemli bir performans ve ömür kaybı yaşamadan, istenilen şekilde çalışmasını sağlayan bir dizi elektriksel parametreler ve limitler olarak da tanımlanmaktadır (URL-1). Elektrik güç kalitesi elektrik enerjisinin devamlılığının sağlanması, akım ve gerilim dalgalarının sinüzoidal formda olması, güç çarpanı diye bilinen $\cos \Phi$ değerinin 1'e yakın olması, frekansın sınır değerleri arasında kalması, gerilim dengesizliğinin belirlenen sınır değerini aşmaması, benzer şekilde akım ve gerilim harmonikleri için belirlenen sınır değeri aşmaması v.b. ifadeleri kapsamaktadır (Büyük ve ark., 2017a).

Güç sisteminde belirtilen şartların yerine getirilememesi durumunda o sistemde güç kalitesi sorunları ortaya çıkar (Büyük ve ark., 2017b). Güç kalitesi sorunları elektrik enerjisi ile çalışan teçhizatların veriminin düşmesine, hatalı çalışmasına veya arızalanmasına sebep olur (Karadeniz, 2022). Bu durum ise teçhizatların kısa ömürlü olmaları yanında nitelik bakımından düşük nitelikli bir enerji kullanımı söz konusu olarak maliyetleri yükseltir (Latran ve Teke, 2014).

Güç kalitesi üzerine yapılan çalışmalarda incelenen parametreler genellikle Gerilim Düşmesi, Gerilim Yükselmesi, Gerilim Dengesizliği, Frekans Sapması, Harmonikler ve Harmonik Bozulmadır.

Gerilim düşmesi gerilim değerinin %10 ile %90 değerleri arasında bir değere gelmesi olayıdır (El-Arini ve ark., 2006).

$$0,1p_u < V_{\text{sebeke}} < 0,9 p_u \quad (1)$$

Gerilimin yükselmesi gerilimin tepe değerinin %110 ile %180 değerleri arasında bir değere yükselmesi olayıdır (Edomah, 2009).

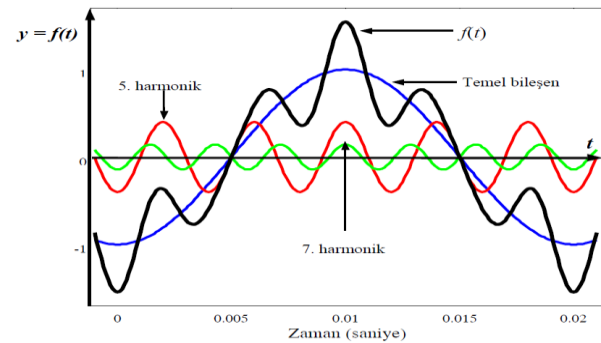
$$1,1p_u < V_{\text{sebeke}} < 1,8 p_u \quad (2)$$

Sinüzoidal dalga formunda olan gerilim için her faz arasında 120°'lik faz farkı olması gerekirken çeşitli sebeplerden dolayı şebekede oluşan bozulmalar sonucunda fazlar arasındaki açının 120° olmaması durumunda gerilim dengesizliği diye adlandırılan güç kalitesi problemleri meydana gelmektedir (Jouanne ve Banerjee, 2001). TS EN 50160 standardına göre gerilim dengesizlik değerinin maksimum %2 sınırında olması gerekmektedir (URL-2).

TS EN 50160 standardına göre güç kalitesi parametrelerinden biri olan gerilimin anma frekansının 49,5-50,5 Hz aralığında olması gerekmektedir (URL-2).

Her ne kadar ideal durumlarda gerilim dalga şeklinin tam sinüzoidal olması gerekirken sistemde nonlineer yüklerin çektikleri akımdan dolayı sinüzoidal dalga formunda bozulmalar meydana gelmektedir (Yurduseven, 2020). Farklı frekans değerinde akımlar üreten anahtarlamalı güç kaynakları ile gerilim çökmelerine neden olan elektrik motorları ve ark fırınları gibi nonlineer yükler güç kalitesi problemlerinden önemli bir parametre olan harmonikleri ortaya çıkarmaktadır (Bütün, 2021).

Şekil 1'de harmonik içeren sistemin dalga formu verilmiştir.



Şekil 1. Harmonik içeren sistemin dalga formu (Acarkan, 2006)

Toplam harmonik bozulma, harmonik bileşen içeren bir sistemde, temel frekans dışındaki tüm harmonik bileşenlerin genliklerinin karelerinin toplamının, temel frekansın genliğinin karesine oranının karekökü olarak ifade edilir ve yüzdesel olarak hesaplanır. Gerilim için toplam harmonik bozulma (THB_v) Denklem 3'te, akım için toplam harmonik bozulma (THB_i) Denklem 4'te verilmiştir (Öztura, 2015).

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1373319

$$THB_V = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}{V_1^2}} \quad (3)$$

$$THB_I = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_1^2}} \quad (4)$$

Güç kalitesi problemleri üzerine yapılmış birçok çalışma vardır. Üniversite hizmet binalarının güç kalitesi yönünden incelenmesi Yalova Üniversitesi için (Güven ve Yörükeren, 2019), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi için (Sarı, 2017) ve Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi için (Yıldız, 2019) tarafından yapılmıştır. Bu makale, seçilen 3 hizmet binası üzerinden Munzur Üniversitesi hizmet binalarının güç kalitesini belirlemeyi amaçlamaktadır.

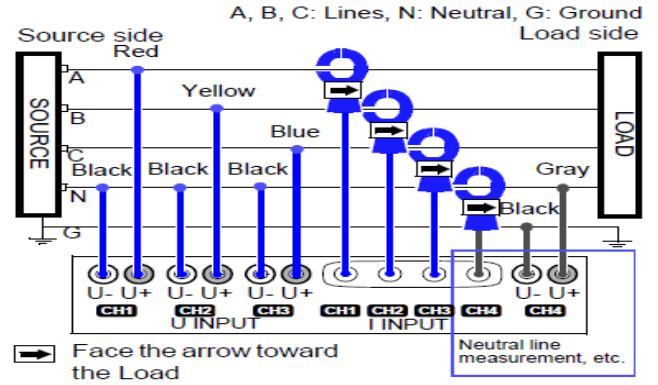
MATERYAL VE METOT

Munzur Üniversitesi hizmet binalarının güç kalitesini belirlemek amacıyla seçilen 3 hizmet binasının enerji ölçümleri, 7 gün boyunca uluslararası standartlarda (URL-2) belirtildiği gibi 10'ar dakika aralıklarla Hioki 3196 Marka Güç Kalitesi Analizörü ile yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonunda elde edilen verilerin analizleri, ulusal ve uluslararası güç kalitesi standartları göz önüne alınarak yapılmıştır. İncelemesi yapılan 3 hizmet binasının seçiminde Tablo 1'de verilen kompanzasyon sistemi ve kesintisiz güç kaynağı varlığı/yokluğu dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Ölçümü yapılacak hizmet binalarının seçim kriterleri

Hizmet Binaları	Kompanzasyon Sistemi	Kesintisiz Güç Kaynağı
Isı Merkezi	Yok	Yok
İdari Bina	Var	Yok
Ar-Ge Lab.	Var	Var

Hioki 3196 Güç Kalitesi Analizörünün klamp ve problemleri, ölçüm yapılacak binaların elektrik ana giriş panosuna Şekil 2'de gösterildiği gibi bağlanarak gerilim dengesizliği, frekans, akım ve gerilimin etkin değerleri, akım ve gerilim için harmonik bozulma değerleri, aktif güç ve güç faktörü (PF) verileri alınmıştır.



Şekil 2. Bağlantı şeması (URL-3)

BULGULAR VE TARTIŞMA

Güç Kalitesi Ölçümleri ve Sonuçları

Ölçüm noktalarından alınan veriler grafik ve tablo haline dönüştürülüp, ilgili standartlara göre belirlenen sınır değerlerine göre yorumlanması bu kısımda gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları gerilim, akım ve güç olmak üzere 3 kategoride incelenmiştir. Gerilim ölçümleri; her bir faz için gerilimin etkin değerindeki değişimleri, frekanstaki değişimleri, gerilim dengesizliği, gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimleri ve gerilim harmonik derecelerini içermektedir. Akım ölçümleri; her bir faz için akımın etkin değerindeki değişimleri, akım için toplam harmonik bozulmanın değişimleri ve akım harmonik derecelerini içermektedir. Güç ölçümleri ise; her bir faz için aktif güç ve güç faktörü değerindeki değişimleri içermektedir. Elde edilen ölçümlerdeki gerilim dengesizliği ve frekans değerleri Tablo 2'de verilmiş ve yorumlanmıştır. Bu iki parametre dışındaki gerilimin etkin değeri, gerilim için toplam harmonik bozulma, akımın etkin değeri, akım için toplam harmonik bozulma, aktif gücün etkin değeri ve güç faktörü Tablo 3'te verilmiş ve yorumlanmıştır. Ayrıca THB_V için bireysel harmonik derecelerinin yüzdelik değerlerinin ortalamaları Şekil 3'te, akımın etkin değerindeki değişimler Şekil 4'te, THB_I için bireysel harmonik derecelerinin yüzdelik değerlerinin ortalamaları Şekil 5'te, aktif gücün etkin değerindeki değişimler Şekil 6'da ve güç faktöründeki değişimler Şekil 7'de verilmiş ve ayrıntılı olarak yorumlanmıştır.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1373319

Gerilim dengesizliğindeki değişimler

Tablo 2’de çalışma kapsamında incelenen 3 hizmet binası için gerilim dengesizliği değerlerinin minimum (Min.), maksimum (Mak.) ve ortalama (Ort.) değerleri verilmiştir. Tablo 2’den de görüldüğü üzere elde edilen değerlerinin tamamının TS EN 50160 standardında belirtilen %2 sınır değerini aşmadığı gözlemlenmiştir.

Frekans değerlerindeki değişimler

Tablo 2’de çalışma kapsamında incelenen 3 hizmet binası için frekans değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir. Tablo 2’den de görüldüğü üzere elde edilen değerlerinin tamamının TS EN 50160 standardında belirlenen 49,5-50,5 Hz. sınır değerleri aralığında kaldığı gözlemlenmiştir.

Gerilim etkin değerlerindeki değişimler

Tablo 3’te çalışma kapsamında incelenen 3 hizmet binasının R,S,T fazlarının gerilim etkin değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir. Tablo 3’ten de görüldüğü üzere bu değerlerin tamamının TS EN 50160 standardında gerilim için belirtilen 207-253 volt sınır değerleri aralığında kaldığı gözlemlenmiştir.

THB_V değerlerindeki değişimler

IEEE 519-2022 standardına göre THB_V değerinin % 8’i aşmaması gerekmektedir (URL-4).

Tablo 3’te çalışma kapsamında incelenen 3 hizmet binasının R,S,T fazlarının THB_V değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir. Tablo 3’ten de görüldüğü üzere THB_V değerlerinin tamamının sınır değer olan %8’i aşmadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 2. Hizmet binaları için gerilim dengesizliği ve frekans parametrelerinin min, mak. ve ort. değerleri

Hizmet Binaları	Değer	Gerilim Dengesizliği (%)	Frekans (Hz)
Ar-Ge Laboratuvarı	Min.	0,33	49,886
	Mak.	0,64	50,086
	Ort.	0,48	49,994
İdari Birimler	Min.	0,38	49,9
	Mak.	0,85	50,1
	Ort.	0,59	50,001
Isı Merkezi	Min.	0,46	49,927
	Mak.	0,79	50,079
	Ort.	0,6	50,005

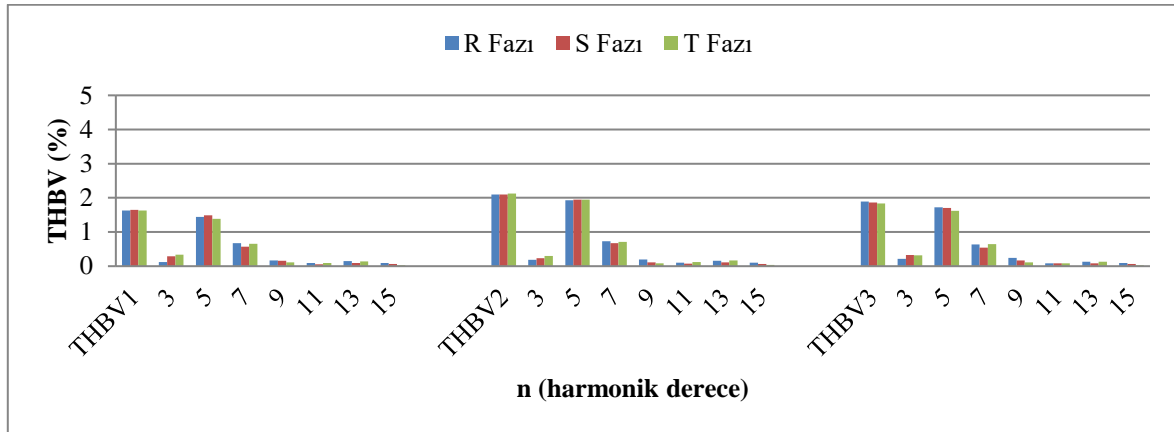
Tablo 3. Her bir faz için hizmet binalarının güç kalitesi parametrelerinin min., mak. ve ort. değerleri

Hizmet Binaları	Faz Sırası	Değer	Gerilim (V)	THB _V (%)	Akım (A)	THB _I (%)	P (kW)	PF (cos Φ)
Ar-Ge Lab.	R Fazı	Min.	224,76	1,41	5,5	7,63	1,2	0,9507
		Mak.	236,55	2,4	29,68	28,73	6,7	0,9966
		Ort.	228,35	1,88	9,88	17,65	2,2	0,9765
	S Fazı	Min.	222,49	1,44	4,05	11,35	0,88	0,9501
		Mak.	234,32	2,39	15,08	34,47	3,39	0,9912
		Ort.	227,75	1,88	6,14	24,21	1,35	0,9611
	T Fazı	Min.	224,32	1,4	3,43	10,58	0,74	0,9504
		Mak.	236,39	2,5	22,29	42,61	4,98	0,9913
		Ort.	229,42	1,87	7,31	26,16	1,62	0,9597
İdari Birimler	R Fazı	Min.	223,27	1,21	8,25	3,88	1,83	0,9537
		Mak.	233,16	2,68	97,39	21,41	22,11	0,9989
		Ort.	228,53	1,84	25,36	12,77	5,74	0,9859
	S Fazı	Min.	220,96	1,24	8,01	4,33	1,77	0,9608
		Mak.	229,63	2,6	85,48	27,75	18,94	0,9980
		Ort.	225,28	1,83	24,93	13,11	5,55	0,9878
	T Fazı	Min.	223,52	1,19	9,63	5,32	2,16	0,9642
		Mak.	233,02	2,62	61,67	18,14	13,88	0,9983
		Ort.	227,9	1,75	20,1	11,80	4,54	0,9878
Isı Merkezi	R Fazı	Min.	223,15	1,26	1,33	18,82	0,29	0,9307
		Mak.	232,6	2,29	82	56,76	17,92	0,9806
		Ort.	228,03	1,89	53,16	27,6	11,55	0,9534
	S Fazı	Min.	220,69	1,17	1,35	6,02	0,29	0,9137
		Mak.	229,55	2,42	95,43	34,85	20,59	0,9768
		Ort.	225,24	1,99	61,08	25,63	12,92	0,9435
	T Fazı	Min.	222,97	1,14	1,1	16,30	0,24	0,9056
		Mak.	232,1	2,3	92,9	58,32	20,06	0,9575
		Ort.	227,5	1,89	61,2	29,69	12,96	0,9309

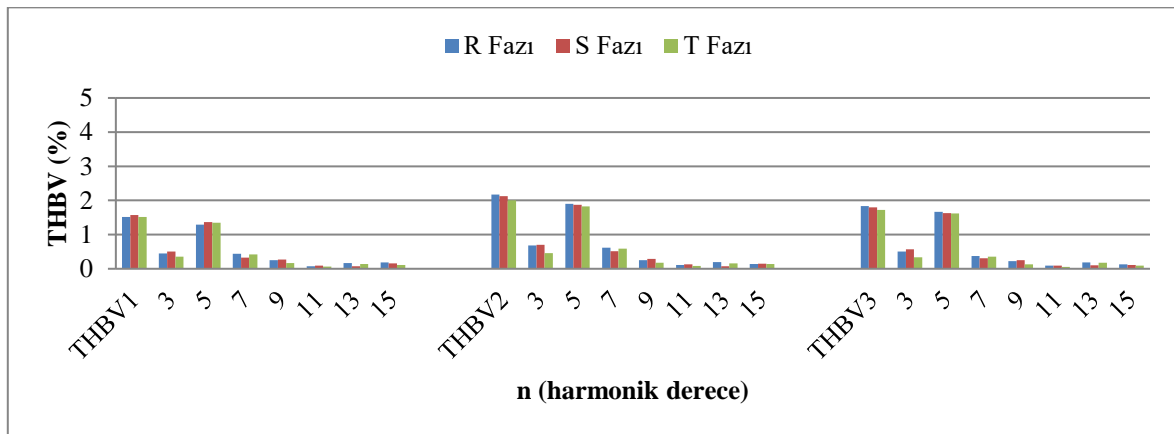
THB_V için bireysel harmonik derecelerinin yüzdeleri ortalamaları

IEEE 519-2022 standardında, bireysel her gerilim harmonik derecesinin %5'i geçmeyecek şekilde olması gerektiği belirtilmiştir (URL-4).

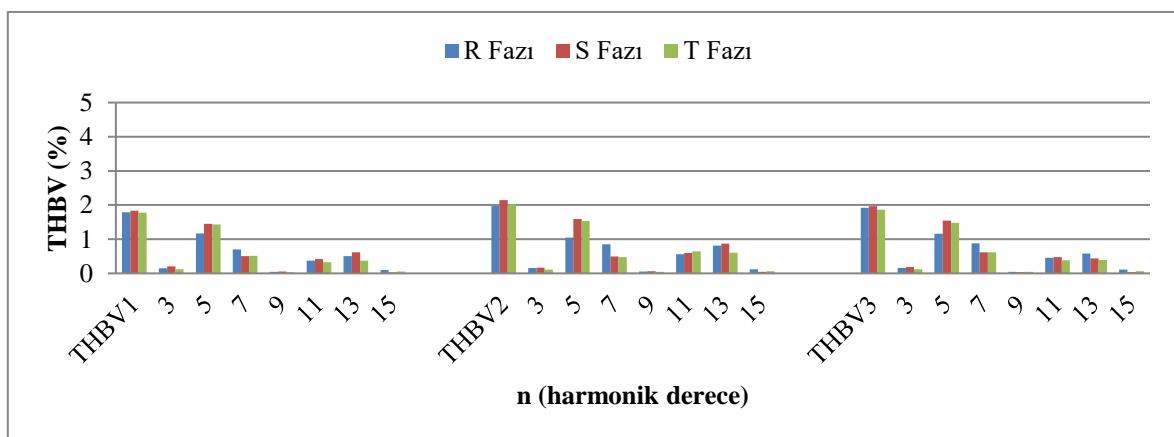
İncelenen üç hizmet binası için Şekil 3'te verilen ve THB_{V1} olarak işaretlenen bölge saat 00:00-08:00 aralığına, THB_{V2} olarak işaretlenen bölge saat 08:00-17:00 aralığına, THB_{V3} olarak işaretlenen bölge ise saat 17:00-24:00 aralığına karşılık gelmektedir.



a



b



c

Şekil 3. a) Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binası için gerilim harmonik derecelerinin ort. değeri
b) İdari Birimler hizmet binası için gerilim harmonik derecelerinin ort. değeri
c) Isı Merkezi hizmet binası için gerilim harmonik derecelerinin ort. değeri

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1373319

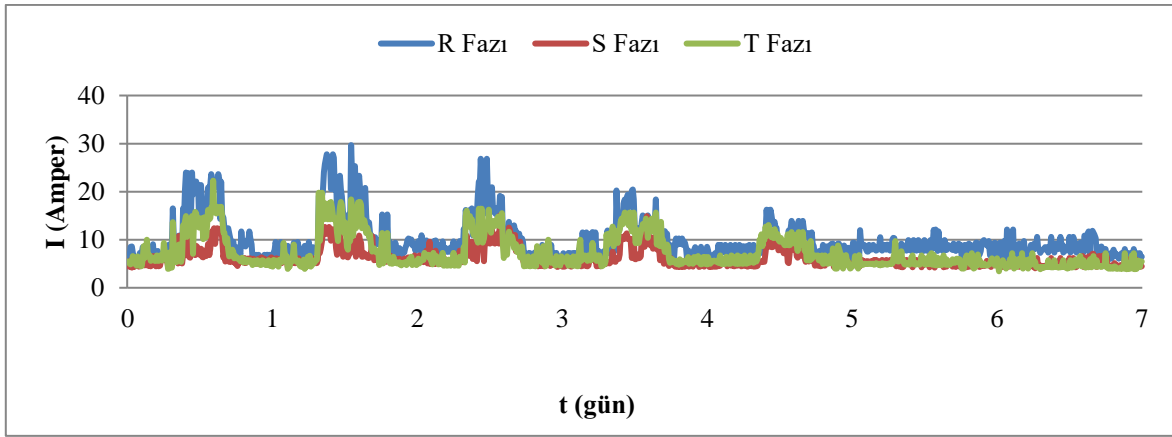
Şekil 3.a' ya göre her üç bölge için harmonik derecelerinin ortalama değerleri incelendiğinde 5. ve 7. harmonik derecelerinin diğer harmonik derecelerine göre daha yüksek olduğu, Şekil 3.b' ye göre her üç bölge için harmonik derecelerinin ortalama değerleri incelendiğinde 3., 5. ve 7. harmonik derecelerinin diğer harmonik derecelerine göre daha yüksek olduğu, Şekil 3.c'ye göre her üç bölge için harmonik derecelerinin ortalama değerleri incelendiğinde 5., 7., 11. ve 13. harmonik derecelerinin diğer harmonik derecelerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Üç hizmet binası için ölçülen tüm bireysel harmonik derecelerinin yüzdelerik değerlerinin

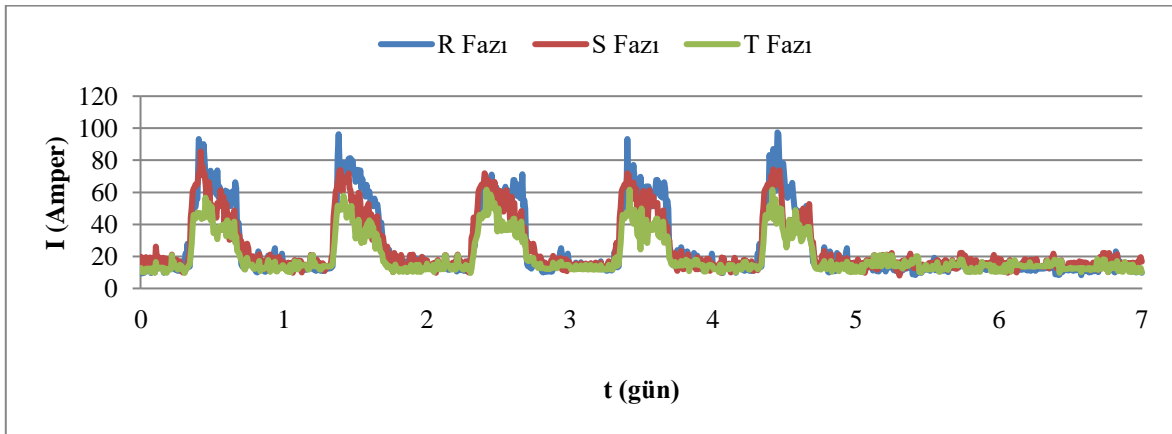
ortalamalarının IEEE 519-2022 standardının üst sınırı olan %5'i geçmediği ve standartlar içinde kaldığı görülmüştür.

Akımın etkin değerindeki değişimler

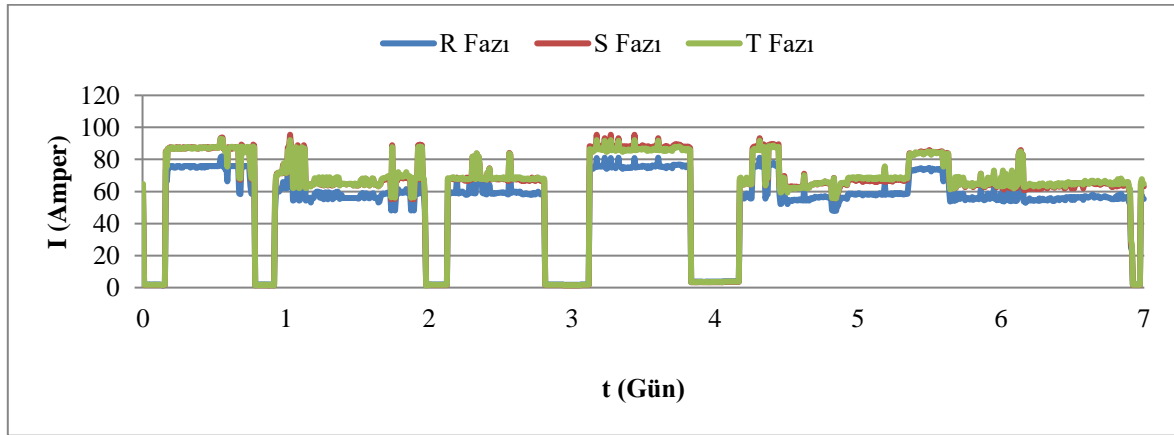
Akımın etkin değeri ile ilgili bir standart olmayıp, beslenen yükün büyüklüğüne bağlı olarak çekilen akımların ve toplam yükün her bir faza olabildiğince eşit bir şekilde dağıtılması sağlanarak, hem elektrik hattının ısınmasının, hem de gerilim düşümü ve gerilim dengesizliğinin önüne geçilmesi dolaylı olarak sağlanabilir.



a



b



c

Şekil 4. a) Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binası için akımın etkin değeri değişimi
 b) İdari Birimler hizmet binası için akımın etkin değeri değişimi
 c) Isı Merkezi hizmet binası için akımın etkin değeri değişimi

Şekil 4.a ve Şekil 4.b incelendiğinde mesai saatlerine denk gelen zaman aralıklarında kullanıcı sayısındaki artış ve buna bağlı olarak kullanılan cihazların sayısındaki artıştan dolayı akımın etkin değerinin arttığı, mesai saatleri dışında ve hafta sonuna denk gelen zaman aralıklarında kullanıcı sayısındaki düşüş ve buna bağlı olarak kullanılan cihazların sayısındaki azalıştan dolayı mesai saatlerine denk gelen zaman aralıklarına göre her üç faz için akımın etkin değerinin düştüğü, birbirine yakın değerlerde olduğu ve akımın etkin değerinde gün içinde fazla bir değişimin olmadığı görülmektedir. Şekil 4.c incelendiğinde Munzur Üniversitesi kampüs alanındaki hizmet binalarının ısınması için çalıştırılan pompaların çalıştığı zaman diliminde çekilen akımın etkin değerinin maksimum seviyeye ulaştığı, ısıtma sisteminin kapatıldığı ve pompaların çalışmadığı zaman aralıklarında çukurlukların oluştuğu, çekilen akımın etkin değerinin minimum seviyelere düştüğü görülmektedir. Şekil 4.a, Şekil 4.b ve Şekil 4.c.'de her ne kadar fazlar arasında akım dengesizliğinin olduğu bölgeler söz konusu olsa da, bu dengesizlikler bir tasarım hatasından ileri gelmeyip, her bir faza bağlı cihazların sayısı ve tükettikleri akımdan ileri gelmektedir.

THB₁ değerlerindeki değişimler

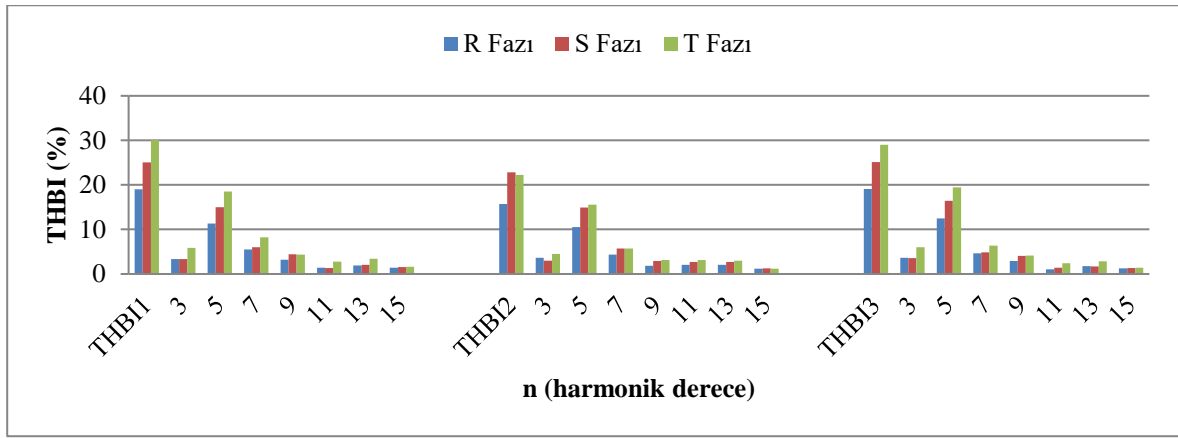
IEEE 519-2022 standardına göre THB₁ değerinin %20'yi aşmaması gerekmektedir (URL-4).

Tablo 3'te çalışma kapsamında incelenen üç hizmet binasının R,S,T fazlarının THB₁ değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir. Tablo 3'ten de görüldüğü üzere THB₁'nin

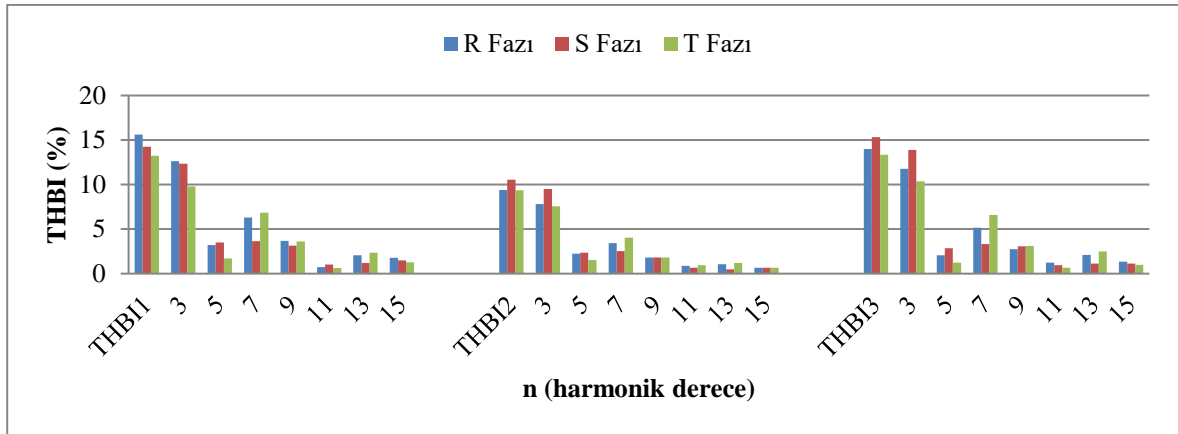
ortalama değerlerinin, İdari Birimler hizmet binasında tüm fazlar için sınır değeri olan %20'yi aşmadığı, Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binasında sadece R fazı için sınır değerini aşmadığı, Isı Merkezi hizmet binasında ise tüm fazlar için sınır değerini aştığı gözlemlenmiştir.

THB₁ için bireysel harmonik derecelerinin yüzdelerinin ortalamaları

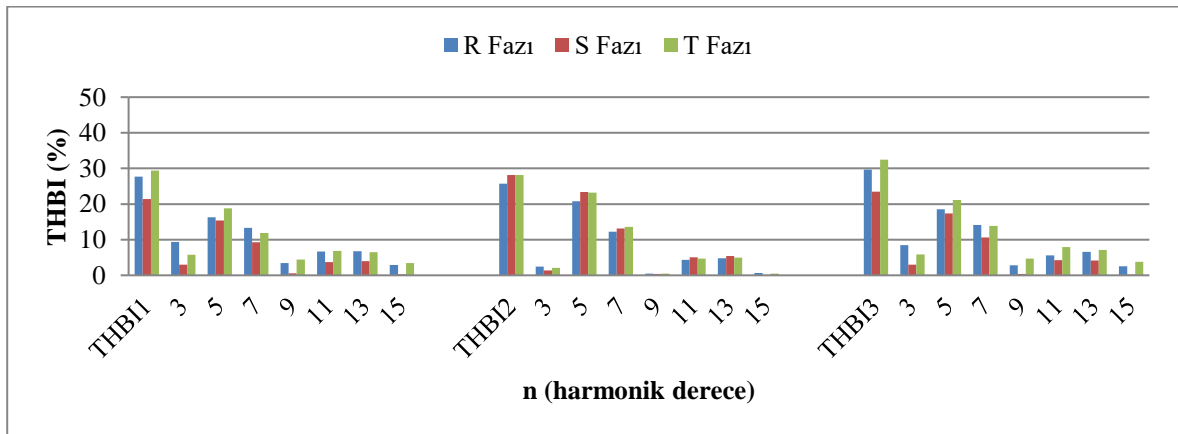
Belirlenen üç hizmet binası için Şekil 5'te verilen ve THB₁₁ olarak işaretlenen bölge saat 00:00-08:00 aralığına, THB₁₂ olarak işaretlenen bölge saat 08:00-17:00 aralığına, THB₁₃ olarak işaretlenen bölge ise saat 17:00-24:00 aralığına karşılık gelmektedir. İncelenen 3 hizmet binası için elde edilen bireysel akım harmoniği derecelerinin yüzdelerinin, IEEE 519-2022 standardında belirlenen akımın bireysel harmonik dereceleri için sınır değerleri olan $2 \leq h < 11$ aralığı için maksimum %15, $11 \leq h < 17$ aralığı için maksimum %7 yüzdelerinin karşılaştırılmıştır.



a



b



c

Şekil 5. a) Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binası için akım harmonik derecelerinin ort. değeri
b) İdari Birimler hizmet binası için akım harmonik derecelerinin ort. değeri
c) Isı Merkezi hizmet binası için akım harmonik derecelerinin ort. değeri

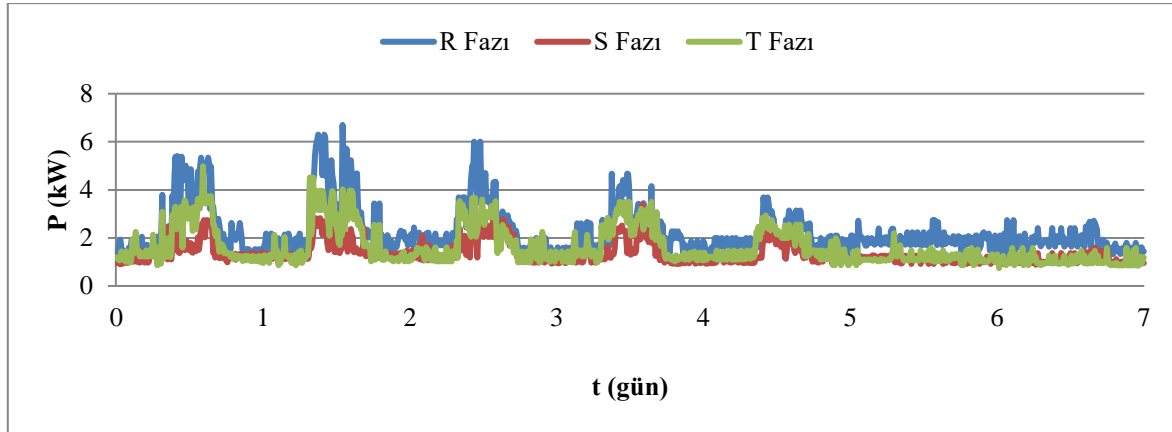
Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1373319

Şekil 5.a'ya göre Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binasında akım için toplam harmonik bozulmanın değerinin büyük çoğunluğunun 5. harmonik derecesinden kaynaklandığı, her faz için 5., 7. ve 9. harmonik derecelerinin diğer harmonik derecelerine göre daha yüksek olduğu, özellikle 5. harmonik derecesinin toplam harmonik bozulma değerinin IEEE 519-2022 standardında belirlenen sınır değerini aştığı ve her faz için diğer bireysel harmonik derecelerindeki toplam harmonik bozulmanın IEEE 519-2022 standardına uygun olduğu, Şekil 5.b'ye göre İdari Birimler hizmet binasında akım için toplam harmonik bozulmanın değerinin büyük çoğunluğunun 3. harmonik derecesinden kaynaklandığı, her faz için 3. harmonik derecesinin diğer harmonik derecelerine göre daha yüksek olduğu ve her faz için tüm bireysel harmonik derecelerindeki toplam harmonik bozulmanın IEEE 519-2022 standardına uygun olduğu, Şekil 5.c'ye göre Isı Merkezi hizmet binasında akım için toplam harmonik bozulmanın büyük çoğunluğunun 5. ve 7. harmonik

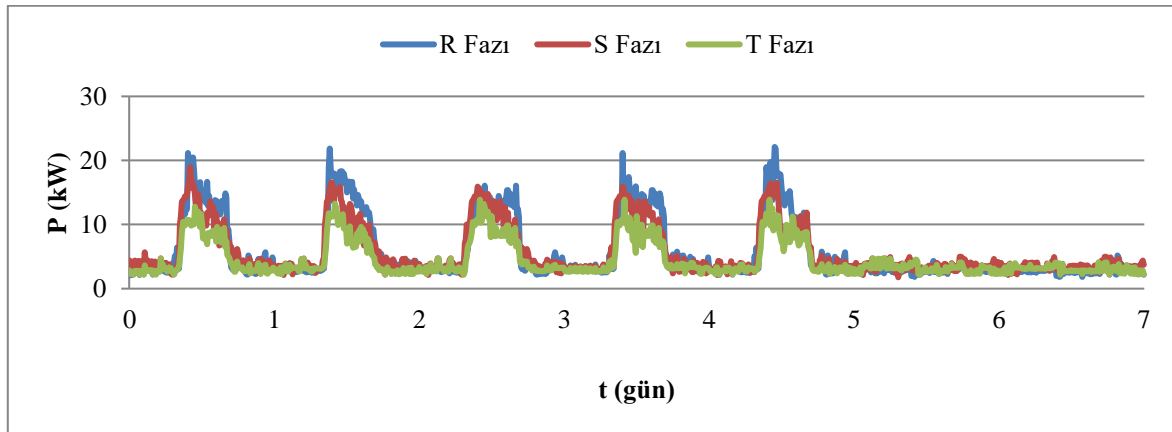
derecesinden kaynaklandığı, 5., 7., 11. ve 13. harmonik derecelerinin diğer harmonik derecelerine göre daha yüksek değerde olduğu, sınır değerini aştığı ve her faz için diğer tüm bireysel harmonik derecelerindeki bozulmanın IEEE 519-2022 standardına uygun olduğu görülmüştür.

Aktif gücün etkin değerindeki değişimler

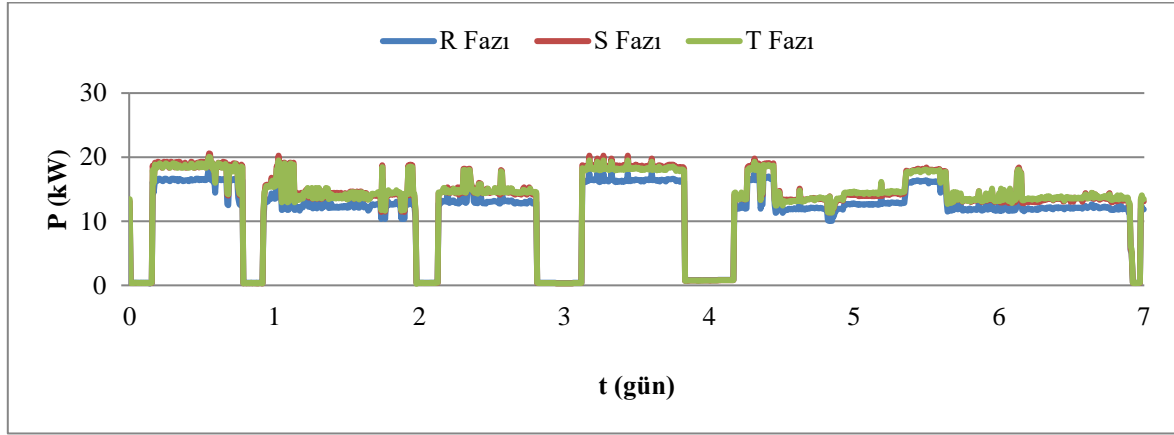
Aktif güç, kullanılan teçhizatların çektiği toplam akımın, gerilimin etkin değeri ve güç çarpanıyla orantılı olduğundan, Üniversite hizmet binalarının elektrik projeleri hazırlanırken yukarıda belirtilen üç faktöre göre talep gücü hesabı yapılmıştır. Munzur Üniversitesi 1. Etap Hizmet Binalarının Elektrik Uygulama Projeleri'nde çalışma kapsamında incelenen 3 hizmet binası için talep güçleri sırasıyla Ar-Ge Laboratuvarı için 661.97 kW, İdari Birimler Hizmet binası için 299.89 kW ve Isı Merkezi için 335.97 kW olarak hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen Aktif Güç verilerinin analizi ilgili talep güçleri göz önüne alınarak yapılmıştır.



a



b



c

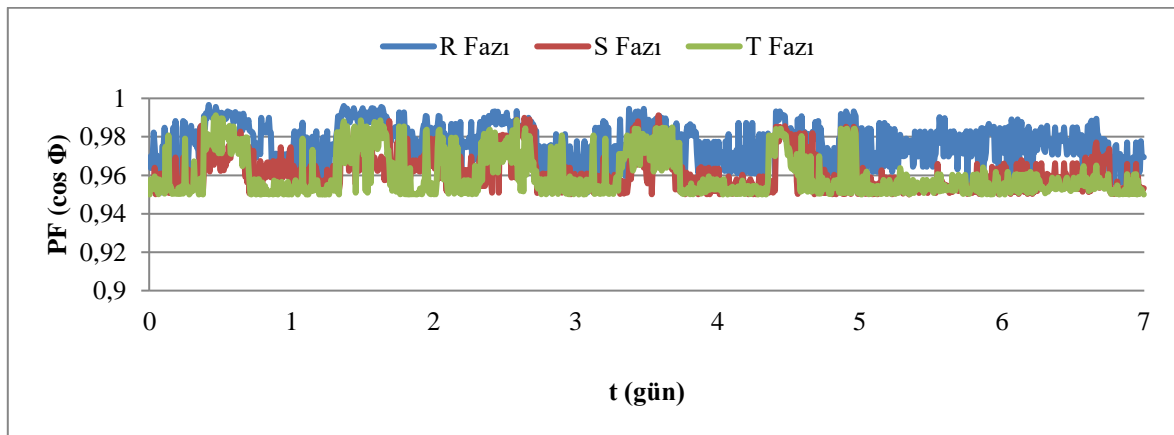
Şekil 6. a) Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binası için aktif gücün etkin değerinin değişimi
 b) İdari Birimler hizmet binası için aktif gücün etkin değerinin değişimi
 c) Isı Merkezi hizmet binası için aktif gücün etkin değerinin değişimi

Şekil 6.a ve Şekil 6.b incelendiğinde mesai saatlerine denk gelen zaman aralıklarında aktif gücün etkin değerinin arttığı, mesai saatleri dışında ve hafta sonuna denk gelen zaman aralıklarında her üç faz içinde aktif gücün etkin değerinin birbirine yakın değerde olduğu ve gün içinde fazla bir değişimin olmadığı görülmektedir. Şekil 6.c incelendiğinde Munzur Üniversitesi kampüs alanındaki hizmet binalarının ısınması için çalıştırılan pompaların çalıştığı zaman diliminde çekilen aktif gücün etkin değerinin maksimum seviyeye ulaştığı, ısıtma sisteminin kapatıldığı ve pompaların çalışmadığı zaman aralıklarında çukurlukların oluştuğu, çekilen aktif gücün etkin değerinin minimum seviyelere düştüğü görülmektedir. Şekil 6.a, Şekil 6.b ve Şekil 6

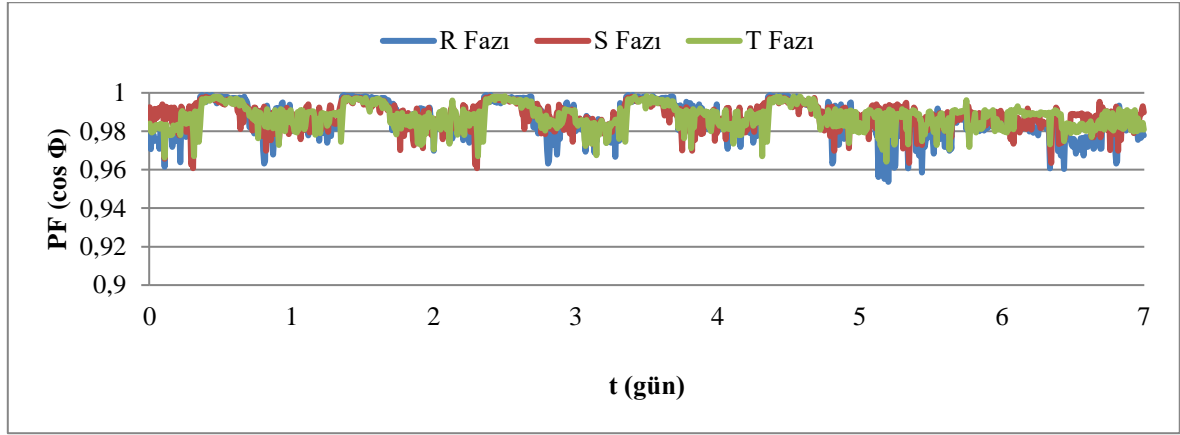
c.'de her ne kadar fazlar arasında güç dengesizliğinin olduğu bölgeler söz konusu olsa da, bu dengesizlikler bir tasarım hatasından ileri gelmeyip, her bir faza bağlı cihazların sayısı ve tükettikleri güçten ileri gelmektedir.

Güç faktörü değerindeki değişimler

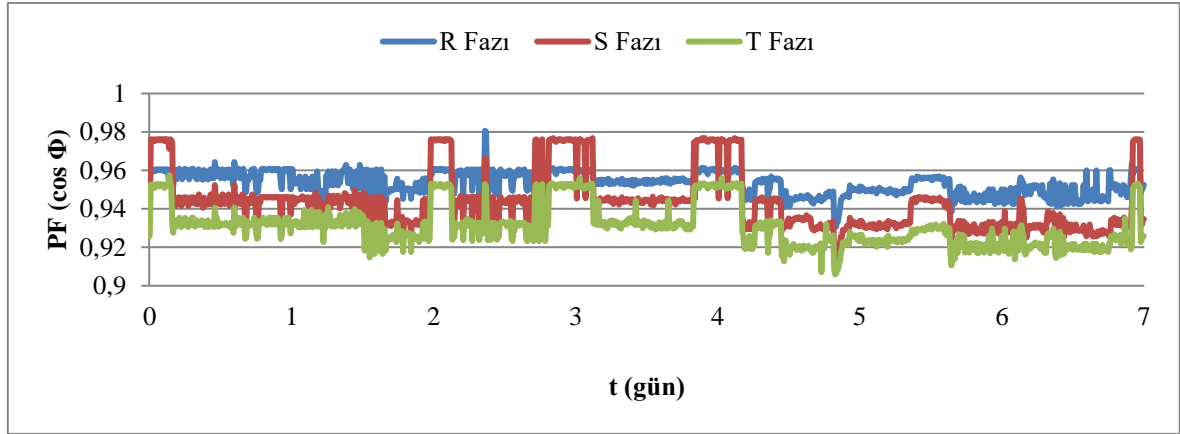
Reaktif Güç Sınır Değerleri başlığında EPDK tarafından verilen karara göre reaktif güç faktörünün minimum değeri yaklaşık 0,9889, kapasitif güç faktörünün minimum değeri yaklaşık 0,9806 olarak hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen 3 hizmet binasının ve merkezi kompanzasyon sisteminin güç faktörü değerleri yukarıda belirtilen değerlere göre yorumlanmıştır.



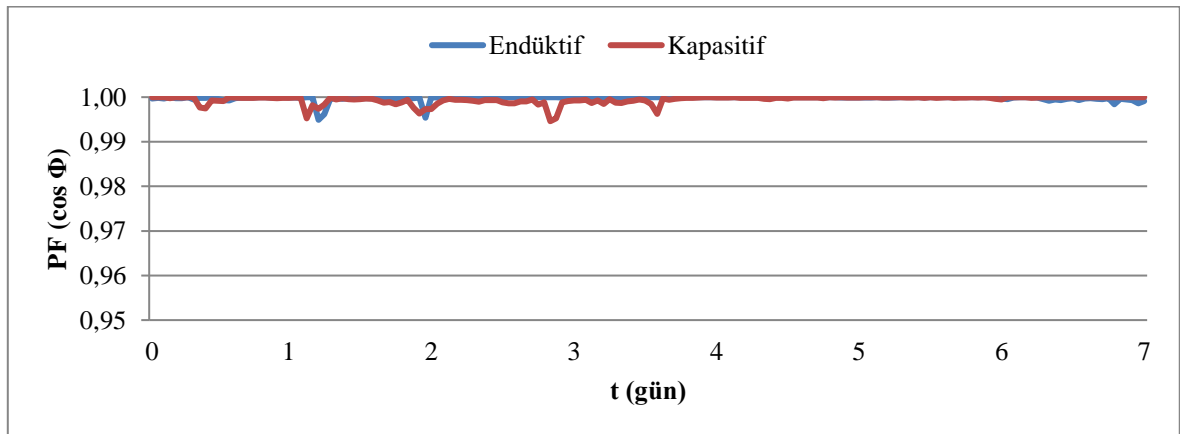
a



b



c



d

Şekil 7. a) Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binası için güç faktörü değerinin değişimi
b) İdari Birimler hizmet binası için güç faktörü değerinin değişimi
c) Isı Merkezi hizmet binası için güç faktörü değerinin değişimi
d) Merkezi Kompanzasyon sistemi için güç faktörü değerinin değişimi

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1373319

Şekil 7.a ve Şekil 7.b incelendiğinde mesai saatlerinde elektrik tüketiminin artmasına paralel olarak güç faktörünün de artış gösterdiği, ideal durum olan 1 değerine yaklaştığı ve kompanzasyon sisteminin etkin olarak devrede olduğu görülmektedir. Mesai saatleri dışında elektrik tüketiminin çok düşük seviyelere inmesi nedeniyle güç faktörü değerinin azaldığı, ideal durum olan 1 değerinden uzaklaştığı ve kompanzasyon sisteminin işlevini tam olarak yerine getirmediği görülmektedir. Şekil 7.c incelendiğinde Isı merkezinde kompanzasyon sistemi olmadığından güç kalitesi analizöründen okunan güç faktörü değeri, kullanılan teçhizatların tükettiği aktif ve reaktif güç değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Kompanzasyon sisteminin bulunmadığı Isı Merkezi hizmet binası güç faktörü değerlerinin tamamının EPDK tarafından belirlenen minimum sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür. Şekil 7.d incelendiğinde Merkezi Kompanzasyon sisteminin güç faktörü değerlerinin EPDK tarafından belirlenen minimum sınır değerlerin üzerinde ve ideal değer olan 1'e çok yakın olduğu görülmüştür. Bu durum ise Merkezi Kompanzasyon sisteminin görevini yerine getirdiğini göstermektedir.

SONUÇ

Gerilim kalitesi parametrelerinin incelendiği Munzur Üniversitesi'nin 3 hizmet binası için, gerilimin etkin değeri, frekans ve gerilim dengesizliği değerlerinin EN 50160 Avrupa güç kalitesi standartlarında belirtilen sınır değerleri arasında olduğu görülmüştür. Çalışma kapsamında gerilim kalitesi için elde edilen değerler, Yıldız (2019) ve Sarı (2017)'nin çalışmalarındaki gerilim kalitesi parametreleri için elde ettikleri sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

Güç kalitesi parametrelerinin incelendiği merkezi kompanzasyon sistemi için, güç faktörü değeri EPDK tarafından belirlenen minimum sınır değerinin üstünde ve ideal değer olan 1'e çok yakın olduğu görülmüştür. Munzur Üniversitesi kampüs alanının yük dağılımı incelendiğinde, trafolar arasında enerji dağıtımının 3,4 km XLPE kablo ile yapılması nedeniyle kapasitif yükün fazla olduğu görülmektedir. Hizmet binalarının ilk kompanzasyon projesi yapıldığında XLPE kablo kullanımından ileri gelen kapasitif yük dikkate alınmamış ve hizmet binalarında sadece kapasitif yük kompanzasyonu yapılmıştır. Benzer kapasitif yük sorunlarının ele alındığı Yıldız (2019) çalışmasında Bolu Abant İzzet

Baysal Üniversitesi Merkez Kampüsünde yaklaşık 5 km'lik XLPE kablo hattının bulunmasından dolayı kapasitif yükün fazla olmasına rağmen endüktif kompanzasyon sistemi yapılması gerekirken sadece kapasitif kompanzasyon sisteminin kurulduğunu belirtmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen Munzur Üniversitesi'nin 3 hizmet binasının tükettiği toplam aktif güce bakıldığında, hizmet binalarının tükettiği aktif gücün talep gücüne göre çok düşük olduğu sonucuna ulaşılmış ve benzer durumun Yıldız (2019) ve Sarı (2017)'nin çalışmalarında da olduğu görülmüştür. Bunun nedeni; proje hazırlık aşamasında hizmet binalarının talep gücü hesaplanırken eş zamanlılık faktörünün yüksek seçilmesidir. Bu durum ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına sebep olmaktadır. Proje aşamasında talep gücünün doğru hesaplanması ve ihtiyaca yönelik sistem tasarımı yapılmasının, ekonomik ve teknik verimlilik bakımından daha faydalı olacağı düşünülmektedir.

İncelenen her 3 hizmet binası için IEEE 519-2022 standardına göre THB_V değerlerinin tamamının %8 sınır değerini aşmadığı görülmüştür.

IEEE 519-2022 standardına göre THB_I değerlerinin %20'yi aşmaması gerekmektedir. Çalışma kapsamında incelenen 3 hizmet binasından, İdari Birimler hizmet binasında tüm fazlar için %20 sınır değerini aşılmadığı fakat Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binasında S ve T fazları için sınır değerinin aşıldığı, Isı Merkezi hizmet binasında ise tüm fazlar için sınır değerinin aşıldığı gözlemlenmiştir.

Munzur Üniversitesi kampüsünün güç hesapları yapılırken eş değerlilik katsayılarının yüksek seçilmesinden dolayı binaların trafo güçleri çok yüksek değerde olmakta ve bunun bir sonucu olarak yüksüz durumda trafo kayıplarında artış meydana gelmektedir. Güven ve Yörükeren (2019) çalışmalarında belirttiği gibi trafoların boşa çalışma akımı, demir kayıplarına ait akım ile harmonik bileşenler içeren mıknatıslanma akımının toplamından ileri gelmekte olup, boşa çalışan trafo yüksüz olmasına rağmen mıknatıslanma akımı nedeniyle harmonik bileşen içeren akım üretmektedir. İncelenen hizmet binalarında, mesai saatleri içinde teçhizat kullanımının artmasına bağlı olarak yükün artışı ile daha az harmonik bileşenin ortaya çıkacağı, günün erken saatlerinde sistemdeki yükün az olması, gerilimin yüksek oluşu ve aşırı uyarmanın meydana gelmesiyle birlikte daha çok harmonik bileşenin ortaya çıkacağı beklenmektedir.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1373319

Hizmet binalarının akım harmonik dereceleri incelendiğinde İdari Birimler hizmet binası için 3. harmonik derecesinin, Ar-Ge Laboratuvarı ve Isı Merkezi Hizmet Binası için ise 5. ve 7. harmonik derecelerinin yüksek olduğu görülmüştür. Uluslararası standartlarda belirtilen sınır değerleri göz önünde bulundurulduğunda THB₁ değerlerinin sınır değerlerini aştığı durumlar görülmüş ve bu yüksek harmonik bozulmanın zamanla kondansatör patlamasına, elektronik kartların ve bilgisayar gibi cihazların arızalanmasına sebep olabileceği düşünülmektedir.

Munzur Üniversite kampüsünde yer alan hizmet binaları arasında seçilen 3 hizmet binasının güç kalitesi yönünden birbiriyle karşılaştırılması yapıldığında THB₁ değerleri dışında kalan güç kalitesi parametrelerinden gerilimin etkin değeri, gerilim dengesizliği, frekans, THB_V değeri ve gerilim için bireysel harmonik dereceleri ilgili standartlarda belirlenen sınır değerleri aralığında olduğu görülmüş ve 3 hizmet binasının da sonuçlarının birbiriyle benzerlik gösterdiği görülmüştür. THB₁ değeri ve bireysel harmonik dereceleri incelendiğinde, kompanzasyon sisteminin olduğu, doğrusal olmayan yük olarak bilinen ve harmonik üreten kesintisiz güç kaynağının olmadığı İdari Birimler hizmet binasının güç kalitesi standartlarına uygun olmakla birlikte güç kalitesi yönünden en verimli hizmet binası olduğu söylenebilir. Kesintisiz güç kaynağına sahip Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binasında THB₁ değerinin sınır değerini aştığı görülmüştür. Kesintisiz güç kaynağının elektrik kesintilerinde veri kaybının önüne geçmesi, ani gerilim yükselmelerini regüle etmesi gibi avantajlarından dolayı hizmet binalarında kullanılmasına ihtiyaç duyulduğundan harmonik probleminin meydana geldiği kaynağın çıkışına pasif filtre bağlantısının yapılması harmoniklerin giderilmesi için gerekli olmaktadır. Hem kesintisiz güç kaynağı hem de kompanzasyon sistemi bulunmayan Isı Merkezi hizmet binası incelendiğinde ısınma için kullanılan teçhizatlardan kaynaklı THB₁ değerlerinin sınır değerinin çok üstünde olduğu ve kompanzasyon sisteminin bulunmamasından dolayı da güç kalitesi yönünden verimliliğinin düşük olduğu söylenebilir. Isınma için kullanılan teçhizatların çıkışına bireysel pasif filtre bağlantısının yapılması önerilir.

TEŞEKKÜR

Bu makale birinci yazarın yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

KAYNAKLAR

- Acarkan, B. (2006). Ofis donanımının harmonik etkinliğinin kestirimi ve harmonik analizi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Bollen, M.H. (2000). Understanding power quality problems. In voltage sags and interruptions. Vol. 3, IEEE press.
- Bütün, İ.M. (2021). Elektrik güç sistem harmoniklerinin yapay arı kolonisi algoritmasıyla kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Ankara.
- Büyük, M., Tan, A., İnci, M. ve Tümay, M. (2017). A notch filter based active damping of LLCL filter in shunt active power filter. International Symposium on Power Electronics (Ee), Novi Sad, Sırbistan, ss. 1-6.
- Büyük, M., İnci, M., Tümay, M. (2017). Performance comparison of voltage sag/swell detection methods implemented in custom power devices. Rev. Roum. Sci. Techn.-Électrotechn. et Énerg, 62 (2), ss. 129-133.
- Edomah, N. (2009). Effects of voltage sags, swell and other disturbances on electrical equipment and their economic implications. CIRED 2009 - 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution - Part 1, Prague, Czech Republic, pp. 1-4.
- EI-Arini M. M., Youssef M.T. ve Hendawy H.H. (2006). Voltage sag analysis and its reduction to improve power system performance. 2006 Eleventh International Middle East Power Systems Conference, El-Minia, Egypt, pp. 87-92.
- Güven, A.F. ve Yörükeren, N. (2019). Yalova Üniversitesi merkez kampüsünde elektrik enerji kalitesini etkileyen harmoniklerin incelenmesi. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, c. 9(1), ss. 123-143.
- Jouanne, A. ve Banerjee, B. (2001). Assessment of voltage unbalance, IEEE Transactions On Power Delivery, 16 (4), 782-790.
- Karadeniz, M. (2022). Güç sistemlerinde sınırlı sayıda ölçüm cihazı kullanılarak güç kalitesi olaylarının izlenmesi ve yük modellemesi için yeni yaklaşımlar. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.


Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1373319

- Kaymaz, K., Aydın, Ç. M. ve Zengin, B. (2017). Tunceli ili ekonomisine katkı sağlayan bazı sektörlerin incelenmesi. *Bilim ve Gençlik Dergisi*, 5 (2), 131-145.
- Latran, B.M. ve Teke, A. (2014). Güç kalitesi problemlerini düzelten dağıtım sistemine paralel bağlı evirici tabanlı kompanzatorların incelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 29 (4), 793-805.
- Öztura, H.Ş. (2015). Power Quality and Harmonic Analysis of Iron and Steel Industry, Master's Thesis, Yaşar University, İstanbul.
- Sarı, M. (2017). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsünün enerji kalitesinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- URL-1, 2020. <https://www.endoks.com/2020/02/20/5-soruda-guc-kalitesi-nedir-nasil-iyilestirilir/>, Erişim tarihi: 20.04.2023.
- URL-2,
<https://www.evm.ua/image/catalog/uslugi/standart-en-50160.pdf>, Erişim tarihi: 08.05.2023.
- URL-3,
https://www.hioki.cn/system/upgrade_attachments/attachments/000/000/103/original/3196QE_07.pdf?1482225696, Erişim Tarihi: 30.01.2023
- URL-4,
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9848440>, Erişim Tarihi: 08.05.2023
- Yıldız, H. (2019). BAİBÜ Merkez Kampüs elektrik enerji dağıtım sisteminin enerji verimliliği ve enerji kalitesi açısından incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu.

Energy Spectrum and Properties of SiC: Using Two-Photon Absorption for Different Harmonics

Dilan Alp

Sirnak University, Faculty of Engineering, Department of Energy Systems Engineering, Sirnak, Türkiye

dalp@sirnak.edu.tr 

Received date:14.07.2023, Accepted date: 27.07.2023

Abstract

This paper describes a methodology for studying the energy spectrum and characteristics of Silicon Carbide (SiC) semiconductor materials, utilizing various harmonics for two-photon absorption (TPA). The approach involves developing theoretical models to simulate the energy levels and transitions of SiC, based on the TPA process. By analyzing the resulting spectra obtained by varying the harmonic order, the energy spectrum, and properties of SiC are explored. In this work also includes a comparison of the energy spectrum and properties of SiC for single and two-photon absorption, providing insights into the distinctive features of SiC under these conditions. In particularly absorption co-efficient of the material was calculated from optical transmittance and reflectance measurements at room temperature (300 K) in the wavelength range of 200 -900 nm. In addition, Gaussian functions centered at different energies were modeled using TPA in SiC materials and their contribution to the Harmonic Generation (HG) signal was calculated.

Keywords: Nonlinear optic, two photon absorption (TPA), single photon absorption (SPA), harmonic order, harmonic generation (HG), SiC

SiC' ün Enerji Spektrumu ve Özellikleri: Farklı Harmonikler için İki Foton Emilimi Kullanma

Öz

Bu makale, Silikon Karbür (SiC) yarıiletken malzemelerin enerji spektrumunu ve karakteristiklerini incelemek için iki-foton emilimi (TPA) ve çeşitli harmonikler kullanarak bir metodolojiyi açıklar. Bu yaklaşım, TPA sürecine dayalı olarak SiC' ün enerji seviyelerini ve geçişlerini simüle etmek için teorik modellerin geliştirilmesini içermektedir. SiC' ün enerji spektrumu ve özellikleri, harmonik derece değiştirilerek, araştırıldı. Ayrıca bu çalışmada, tek ve iki-foton emilimi için SiC' ün enerji spektrumu ve özelliklerinin karşılaştırması yapılarak, SiC' ün bu koşullar altında farklı özellikleri hakkında bilgi verildi. Özellikle malzemenin absorpsiyon katsayısı, oda sıcaklığında (300 K) 200-900 nm dalga boyu aralığında optik geçirgenlik ve yansıma ölçümlerinden hesaplandı. Ayrıca, SiC malzemelerinde TPA kullanılarak farklı enerjilerde merkezlenmiş Gauss fonksiyonları modellenerek, bunların Harmonik Üretim (HG) sinyaline katkıları hesaplandı.

Anahtar Kelimeler: Doğrusal olmayan optik, iki foton emilimi, tek foton emilimi, harmonik derece, harmonik üretim, SiC

INTRODUCTION

Nonlinear optical phenomena have received significant attention in recent years due to their potential applications in a wide range of fields, including microscopy, imaging, sensing, and data storage (Ganeev, 2013; Lin et al., 2007). Two-photon absorption (TPA) is one of the most studied nonlinear optical processes, which involves

simultaneous absorption of two photons of lower energy to excite an electron to a higher energy level. Silicon carbide (SiC) has been shown to exhibit significant TPA in the visible and near-infrared spectral range, making it an attractive material for a variety of TPA-based applications in material science, bio-photonics, and quantum information

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1327295

processing (Shenai et al., 1989; Ivanov et al., 1992; Casady et al., 1996; Nordquist et al., 1996; Hornberger et al., 2004; Wright et al., 2007; Litchinitser et al., 2008; Victor, 2013; Gong-Ru et al., 2015; Wellmann, 2018; Castelletto, 2021).

In addition, SiC-based semiconductor TPA materials could also be used in the field of optical data storage, where high-resolution and high-speed data writing and reading are essential. The high TPA coefficients of SiC could enable the development of high-density and high-speed data storage devices with reduced crosstalk and thermal effects. Despite the potential of SiC-based TPA materials, there are still challenges that need to be addressed. These challenges include improving the material quality and developing advanced processing techniques for large-scale production of high-quality SiC-based TPA devices. Furthermore, a deeper understanding of the TPA mechanism in SiC is needed to optimize the material properties and excitation conditions for specific applications (Mitchel et al., 2004; Ganeev et al., 2010; Hettler et al., 2012; Mbaye et al., 2013; Zhang, 2015; Syu et al., 2018; Burk et al., 2021; Harmon et al., 2022).

Recent studies have focused on exploring the TPA spectra of SiC for different harmonics, which can provide important insights into the material's nonlinear optical properties and enable the development of more efficient TPA-based devices. Harmonic generation is a nonlinear optical process that involves the conversion of the incident photon energy into higher harmonics, resulting in the emission of photons at integer multiples of the incident frequency. Furthermore, experimental studies, theoretical calculations have also been performed to understand the TPA spectra and harmonic generation in SiC. These calculations can provide insights into the underlying physics of the nonlinear optical processes and guide the design of efficient TPA-based devices (Kempf et al., 1999; Cui et al., 2001; Kim et al., 2011; Nalda et al., 2011; Shcherbakov et al., 2014; Ismail et al., 2017; Yi et al., 2017).

In summary, the study of TPA-induced harmonic generation in SiC has attracted significant interest in recent years, owing to its potential applications in a variety of fields. In this article, we will establish a theoretical approach to recent developments in the study of TPA-induced harmonic generation in SiC, focusing on experimental observations and theoretical calculations of harmonic spectra for different harmonics. We will also discuss the opportunities for future research in this exciting field, including the optimization of the material properties and excitation conditions for specific applications and the exploration of new applications for SiC-based harmonic generation materials.

SiC Properties: Single Photon and Two Photon Absorption

Silicon carbide (SiC) is a material that exhibits an exceptionally wide optical energy gap ranging from 2.0 eV to 7.0 eV (Bhatnagar et al., 1993). This characteristic makes it an ideal candidate for the development of UV detectors, which are essential for a variety of applications (Wherrett, 1984; Bhatnagar et al., 1993; Weitzel et al., 1996; Skromme et al., 2000; Brodyn et al., 2012; Lu et al., 2014; Wang et al., 2014; De Leonardis et al., 2017; Perevislov et al., 2020).

In our study, graphs will be produced by means of mathematical calculations for the theoretical determination of the energy spectrum and properties of SiC materials by using various harmonics for two-photon absorption. The code will be designed to be flexible and easily modifiable, allowing the SiC to probe its properties with different laser parameters and harmonics. In order to validate our method, we compare our theoretical results with experimental data and find good agreement. Our method provides a powerful tool for predicting the energy spectrum and properties of SiC under various laser parameters, and it could have significant implications for the design and optimization of SiC-based optoelectronic devices.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1327295

Firstly, we calculate the temperature dependence of the electrical conductivity of a semiconductor material with a theoretical modeling by writing code in the Mathematica program. The data are calculated using the theory of electron transport in a semiconductor under the assumption of a constant scattering time.

The conductivity is also strongly dependent on temperature, with a characteristic curve shape that reflects the behavior of the density of states and the thermal excitation of carriers. At low temperatures, the conductivity is dominated by impurity scattering, which leads to a decrease in conductivity with decreasing temperature. At higher temperatures, the thermal excitation of carriers dominates, leading to an increase in conductivity with increasing temperature (Streetman et al., 2000; Rusheng et al., 2013).

Theoretically used "Drude-Sommerfeld conductivity equation" describe the electrical behavior of semiconductors. It was first derived by Paul Drude in 1900 and later modified in 1928 by Arnold Sommerfeld to account for the effects of quantum mechanics (Garcia et al., 2006). The electrical conductivity of SiC material was calculated as a function of temperature and Fermi energy using this semi-classical model, and the results are shown in the following graph.

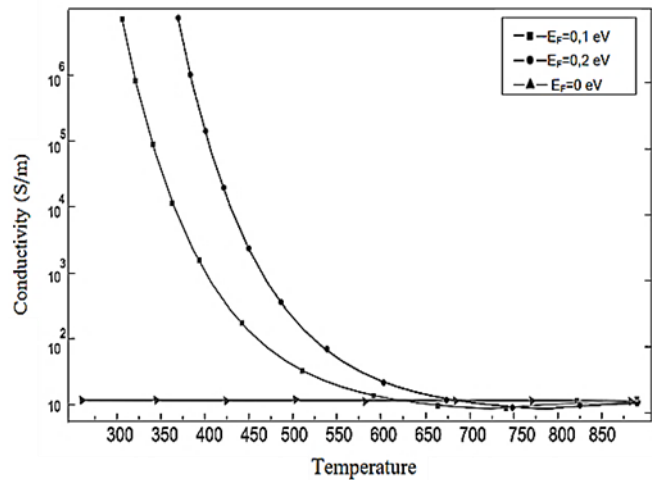


Figure 1. It shows three curves characterizing the Fermi level of the SiC for single photon absorption (SPA) material and the nearby energy band edges. It is the change in conductivity of charge carriers at Fermi energy levels (E_F) with temperature.

This graph is plotted on a log-log scale to emphasize the exponential dependence of conductivity on temperature. The legend shows the corresponding values of the Fermi energy for each curve, and the curves indicate the different values of Fermi energy. The data is calculated for a semiconductor material with a specific set of parameters, including the effective mass of the charge carriers and the density of states at the band edges. As the temperature increases, the conductivity increases initially and then reaches a plateau at higher temperatures. This behavior is a characteristic of semiconductors, where thermal excitation of charge carriers increases the conductivity up to a certain point, beyond which the number of available charge carriers becomes saturated, and the conductivity becomes constant. The Fermi energy level determines the threshold temperature beyond which the conductivity saturates. At higher Fermi energy levels, the saturation temperature is higher, indicating that the material can operate at higher temperatures while maintaining its conductivity.

In SiC material, the conductivity density is directly related to the number of free charge carriers

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1327295

available for conduction. In TPA, two photons with the same frequency combine to excite an electron from the valence band to the conduction band, creating a free charge carrier. The probability of this process increases with the intensity of the incident light, which is proportional to the square of the electric field amplitude. Fig. 2 clearly shows that neglecting the TPA term in the interaction between femtosecond pulsed laser and SiC would result in an order of magnitude underestimation of the conduction band electron density. This emphasizes the significant contribution of TPA and harmonics to the overall interaction process and highlights the necessity of considering this effect in the analysis of laser-material interactions (Alan et al., 2007; Lee, et al., 2010; Ghimire et al., 2011; Attacalite et al., 2015; Johnson et al., 2018; You-Zhao Lan, 2018). The incident laser power is 100 mW and the sample thickness is 50 μm . The two-photon absorption cross-section, initial electron density, absorption coefficient, and carrier lifetime are $3 \times 10^{-20} \text{ cm}^4/\text{s}$, 10^{16} cm^{-3} , $4 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$, and 1 ns, respectively.

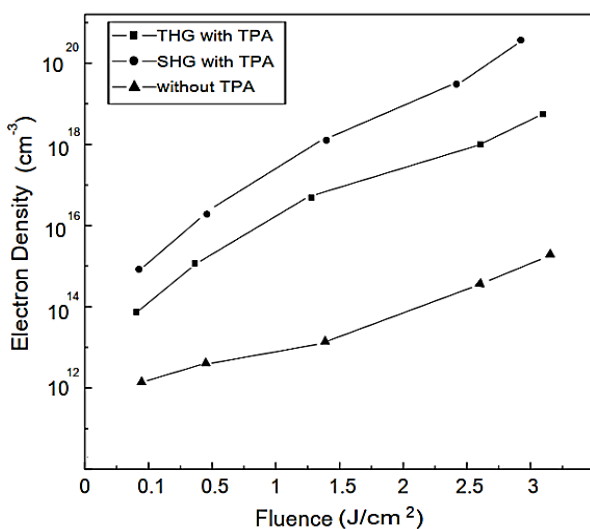


Figure 2. The evolution of conduction band electron density after irradiation as a function of the laser influence beam with a wavelength of 800 nm, taking into account two-photon absorption (TPA) in the second and third harmonics.

In TPA process where two photons are simultaneously absorbed by a molecule or material

to excite it to a higher energy state. This process can generate higher-order harmonic frequencies of the incident light, which can be used to probe the electronic structure of the material. In the case of SiC, using different harmonic frequencies for TPA can provide information on the binding energy of electrons in the material. This is because the TPA cross-section depends on the density of states of the material, which is related to the binding energy of the electrons in the material. By measuring the TPA cross-section at different harmonic frequencies, we can obtain information about the energy levels and the bandgap of SiC (Hamadi et al., 2005)

Furthermore, the TPA process is also sensitive to defects and impurities in the material, which can lead to changes in the electronic structure and affect the TPA cross-section. Therefore, TPA spectroscopy can also be used to study the defects and impurities in SiC and other materials.

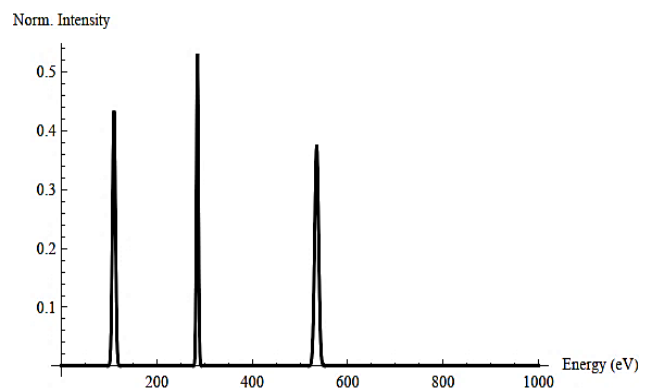


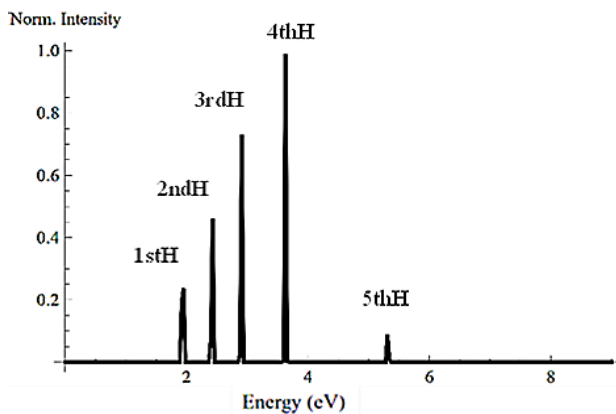
Figure 3. Single photon absorption (SPA) binding energy spectrum of SiC.

Fig.3 contains three distinct peaks shown by the black line. These peaks represent the binding energies of different elements in SiC. The first peak belongs to carbon at around 285 eV. The second peak belongs to silicon at around 110 eV. The third peak belongs to oxygen at around 535 eV. This graph can be used to determine the binding energies of different elements in SiC. Additionally, such spectra are important in many techniques used to determine the chemical and structural properties of materials.

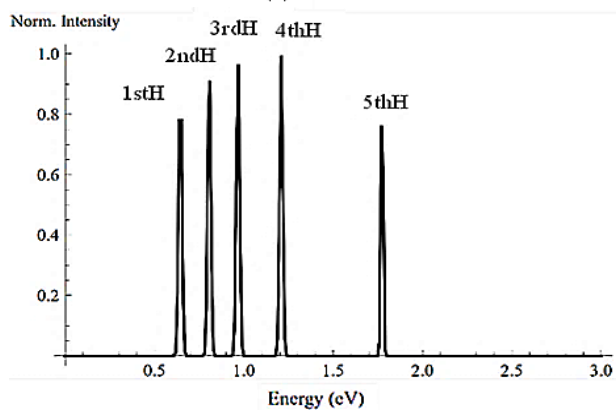
Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1327295

The TPA SiC material peaks are modeled as Gaussian functions centered at different energies, and their contribution to the Harmonic Generation (HG) signal is calculated by summing the intensities of the individual peaks. The peak positions are determined by finding the maximum values of the individual peaks in the spectrum. The plot shows the squared normalized intensity of the HG signal as a function of photon energy. The squared intensity is proportional to the HG signal strength, and the peak positions in the plot correspond to the energies of the individual SiC peaks. The black line indicates the overall HG signal strength from the SiC peaks.

In Fig. 4.a samples are excited with a fundamental frequency of 3 eV and the other signal is produced at a frequency of 6 eV.



(a)



(b)

Figure 4. TPA SiC material's normalized intensity plot of different harmonic signals in 800 nm.

Written with these theoretical codes is used to model X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) data of SiC material. This semiconductor materials that can withstand high temperatures and high powers. XPS is a technique used to determine the chemical bond structures and compositions of elements on the surface of a material. The code simulates the XPS spectrum of the SiC material and attempts to identify the peak positions of the 1st, 2nd and 3rd harmonics to find the corresponding frequency and energy levels. It also includes the normalization of the generated spectrum and includes the 4th and 5th harmonic peaks. The graph shows the intensity of the SiC two photon absorption spectrum normalized to energy in the 0-3eV range (Figure 4b) and includes black line indicating the locations of the identified that 1st harmonic (4.4 eV), 2nd harmonic (3.0 eV), 3rd harmonic (2.4 eV), 4th harmonic (2.0 eV), and 5th harmonic. (1.6 eV) peaks.

In SiC, the absorption coefficient increases when it absorbs two photons compared to one-photon absorption. This means that more light is absorbed by the material, resulting in a higher degree of light attenuation. On the other hand, the transmittance of SiC decreases when it absorbs two photons, indicating that less light is able to pass through the material. This reduction in transmittance is due to the increased absorption of light as a result of the TPA process. The changes in transmittance and absorption coefficient that occur when SiC absorbs two photons have important implications for various optical applications. For example, the strong TPA in SiC can be used to develop optical limiters and switches that operate at lower power levels and with faster response times. Additionally, SiC's TPA properties can be exploited in photovoltaic devices to improve their efficiency.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1327295

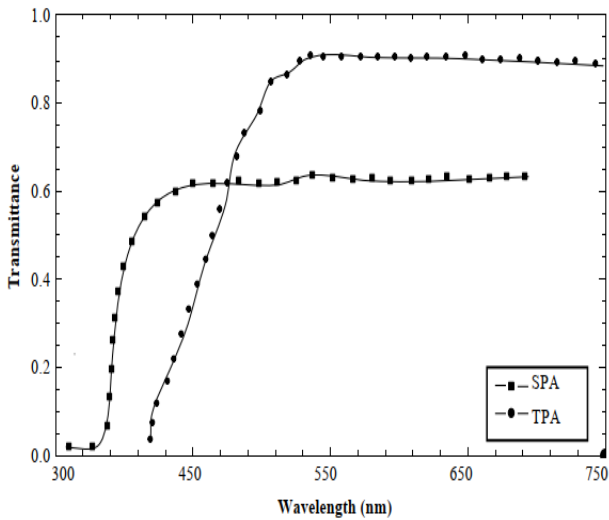


Figure 5. Transmittance versus wavelength graph of SPA and TPA.

Fig. 5 shows the transmission spectrum of SiC material in the wavelength range of 300-750 nm, which can be analyzed into three distinct regions, comparing them for SPA and TPA. In the ultraviolet (UV) range, the transmittance for single-photon absorption increases rapidly for SiC, with maximum absorption occurring within the 300-400 nm range. The visible range (400-700 nm) exhibits a slower increase in transmittance, and the cut-off wavelength remains within this range. In this region, SiC absorption is primarily determined by its thickness, as defined by the Beer-Lambert law (Beer, 1852; Lambert, 1892). Beyond 700 nm, the SiC thin film exhibits minimal absorption and is nearly transparent to infrared (IR) wavelengths, making it a desirable material for optical applications. In contrast, in TPA, SiC typically has a higher transmittance in the UV range compared to single-photon absorption. This is because TPA is a non-linear process that requires simultaneous absorption of two photons, each with half the energy required for single-photon absorption. As a result, the two-photon absorption threshold is lower than that of single-photon absorption, allowing SiC to transmit more light in the UV range.

The probability of absorption coefficient with incident photon wavelength in SiC depends on the

type of absorption process involved (De Leonardis et al., 2017). For SPA (Lohrmann et al., 2017; Linlin et al., 2019) and TPA, the absorption coefficient decreases with increasing wavelength due to the decreasing energy of the incident photons until a certain cutoff wavelength is reached, beyond which TPA becomes negligible. This cutoff wavelength is determined by the energy of two photons being equal to or greater than the bandgap energy of the material. This is because the energy of two photons needs to be greater than or equal to the bandgap energy of the material for TPA to occur, and longer wavelength photons have less energy. The cutoff wavelength for TPA in a given material is determined by its bandgap energy.

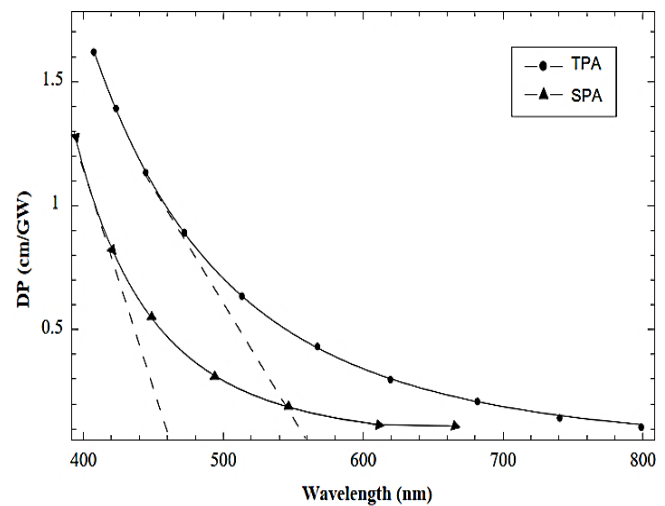


Figure 6. Probability of absorption coefficient with incident photon wavelength of SiC. The cut-off wavelength region (dash line) in SPA and TPA.

Fig. 6. represents the relation of probability absorption coefficient with photon wavelength in SPA and TPA. The single atom absorption coefficient drops rapidly within the range (300-600) nm assigning the minimum at about 450 nm (Lin et al., 2019) which represents the cut-off wavelength (λ_{cutoff}) measured theoretical. On the other hand, with TPA's cut off wavelength is around 550 nm.

Therefore, examining the behavior of the absorption coefficient using different harmonics will allow us to gain more optical properties information about this material (Ganeev et al., 2015). Generally,

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1327295

the graph starts (Fig. 7) with a high absorption coefficient at shorter wavelengths and decreases at longer wavelengths. The absorption coefficient for two-photon absorption in SiC reaches its highest values in the 400-500 nm range and reaches minimum levels around 800 nm. This is important for some applications where SiC is used for two-photon absorption, particularly in laser processing and imaging. The optimum wavelength for these applications is close to the peak value in SiC's absorption spectrum.

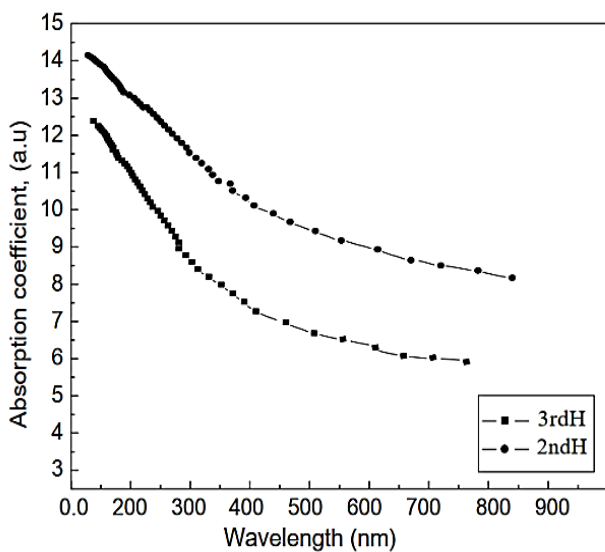


Figure 7. Absorption coefficient with incident photon wavelength of SiC for different harmonics.

Second harmonic generation (SHG) (Zhang et al., 2020) is a method used to produce a second beam of light with twice the frequency of the primary laser beam. The SHG efficiency reaches its highest values in the 400-450 nm range and reaches minimum levels around 800 nm. Therefore, for the best SHG efficiency, the primary laser wavelength should be in the 400-450 nm range (Yamada et al., 2014). Similarly, for third harmonic generation (THG) efficiency of SiC also varies with wavelength. The THG efficiency reaches its highest values in the 150-250 nm range and reaches minimum levels around 700 nm (Fig. 7).

CONCLUSION

In this paper, we have presented a method to model the TPA-induced energy spectrum and properties of SiC using different harmonics. Our method provides insights into the underlying physics of TPA in SiC and can guide the design of TPA-based devices. The results of our study can also contribute to the development of new applications for SiC-based materials in nonlinear optics. Future work can focus on further improving the accuracy and efficiency of the modeling method and exploring new applications for SiC-based materials in TPA-based devices.

At room temperature (300 K), the absorption coefficient, probability absorption of SiC material was investigated utilizing two-photon absorption through analysis of optical transmittance and reflection properties within the wavelength range of 200-900 nm. The obtained results exhibited good agreement with the experimental findings reported in the literature. Additionally, a comparative analysis of the same data was performed for single photon absorption.

In an effort to address the existing gap in the literature, this study aimed to provide comprehensive information regarding the Two-Photon Absorption (TPA) cross-section, energy levels of SiC, and the band gap characteristics under harmonic frequencies at 800 nm. Consequently, the energy intensities of distinct harmonic signals within the energy spectrum of SiC material were accurately determined.

Future work can focus on improving the accuracy and efficiency of the modeling method. This can be achieved by incorporating more sophisticated models and techniques, such as higher-order harmonics or quantum mechanical calculations. Furthermore, new applications for SiC-based materials in TPA-based devices can be explored, such as high-power laser systems, optical switching, and frequency conversion. Overall, the study highlights the potential of SiC in nonlinear optics and the importance of developing accurate

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1327295

and efficient modeling methods to fully understand its properties and potential applications.

CONFLICT OF INTEREST

The Author report no conflict of interest relevant to this article

RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The author declares that this study complies with research and publication ethics.

REFERENCES

- Apollonov, V.V. (2013). High-power optics and its new manifestations. *Laser Phys*, 23, 063001.
- Attaccalite, C., Nguer, A., Cannuccia, E. and Grüning, M. (2015). Strong second harmonic generation in SiC, ZnO, GaN two-dimensional hexagonal crystals from first-principles many-body calculations. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 17, 9533-9540.
- Beer, A. (1852). Bestimmung der Absorption des rothen Lichts in farbigen Flüssigkeiten. *Ann. Phys.*, 162, 78-88.
- Bhatnagar, M. and Baliga, B.J. (1993). Comparison of 6H-SiC, 3C-SiC, and Si for power devices. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 40 (3), 645-655.
- Bristow, A.D., Rotenberg, N. and van Driel, H.M. (2007). Two-photon absorption and Kerr coefficients of silicon for 850-2200 nm. *Appl. Phys. Lett.*, 90, 191104.
- Brodyn, M.S., Volkov, V.I., Lyakhovetskii, V.R., Rudenko, V.I., Puzilkov, V.M. and Semenov, A.V. (2012). Nonlinear-optical and structural properties silicon carbide films. *J. Exp. Teor. Phys.*, 114, 205-211.
- Burk, Jr A.A., O'Loughlin, M.J., Tsvetkov, D. and Ustin, S. (2021). Industrial Perspective of SiC Epitaxy Wide Bandgap Semiconductors for Power Electronics. ed Wellmann, P., Ohtani, N. and Rupp, R. (Weinheim: Wiley) p. 75-92.
- Casady, J.B. and Johnson, R.W. (1996). Status of Silicon Carbide (SiC) as a Wide-Bandgap Semiconductor for High-Temperature Applications: A Review. *Solid-State Electronics*, 39, 1409-1422.
- Castelletto, S. (2021). Silicon carbide single-photon sources: challenges and prospects. *Mater. Quantum. Technol.*, 1, 023001.
- Cui Y. and Lieber C.M. (2001). Functional nanoscale electronic devices assembled using silicon nanowire building blocks. *Science*, 291 (5505), 851-853.
- De Leonardis, F., Soref, R. and Passaro, V. (2017). Dispersion of nonresonant third-order nonlinearities in Silicon Carbide. *Sci Rep.*, 7, 40924.
- De Nalda, R., López-Arias, M., Sanz, M., Oujja, M. and Castillejo, M. (2011). Harmonic generation in ablation plasmas of wide bandgap semiconductors. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 13(22), 10755-10761.
- Ganeev, R.A. (2013). *Nonlinear optical properties of materials*. Springer, New York, p.174.
- Ganeev, R.A., Singhal, H., Naik, P.A., Chakera, J.A., Kumar, M. and Gupta, P. D. (2010). Fourth-order harmonic generation during parametric four-wave mixing in the filaments in ambient air. *Phys. Rev. A*, 82 (4), 043812.
- Ganeev, R.A., Suzuki, M., Yoneya, S. and Kuroda, H. (2015). High-order harmonic generation during propagation of femtosecond pulses through the laser-produced plasmas of semiconductors. *J. Appl. Phys.*, 117 (2), 2176.
- Garcia, H. and Kalyanaraman, R. (2006). Phonon-assisted two-photon absorption in the presence of a dc-field: the nonlinear Franz-Keldysh effect in indirect gap semiconductors. *J. Phys. At. Mol. Opt. Phys.*, 39 (12), 2737-2746.
- Ghimire, S., Di Chiara, A.D., Sistrunk, E., Agostini, P., Di Mauro, L.F. and Reis, D.A. (2011). Observation of high-order harmonic generation in a bulk crystal. *Nat. Phys.*, 7(2), 138-141.
- Hamadi, O.A., Yahia, K.Z. and Jassim, O.N.S. (2005). Properties of Inclined Silicon Carbide Thin Films Deposited by Vacuum Thermal Evaporation, *Journal of Semiconductor Technology and Science*, 5 (3), 182-186.
- Harmon, K.J., Deegan, N., Highland, M.J., Heremans, H. and Hruszkewycz, S.O. (2022). Designing silicon carbide heterostructures for quantum information science: challenges and opportunities. *Mater. Quantum Technol.*, 2, 023001.
- Hettler, C., Sullivan, W.W. and Dickens, J.C. (2012). Characterization of Annealed HPSI 4H-SiC for Photoconductive Semiconductor Switches in Silicon Carbide and Related Materials. *Materials Science Forums*, 717-210, 301-304.
- Hornberger, J., Lostetter, A.B., Olejniczak, K.J., McNutt, T., Lal, S.M. and Mantooh, A. (2004). Silicon-carbide (SiC) semiconductor power electronics for extreme high-temperature environments. *IEEE Aerospace Conference Proceedings*, 4, 2538-2555.
- Ismail, R.A., Khawla, S.K. and Rana, O.M. (2017). Characterization of high photosensitivity

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1327295

- nanostructured 4H-SiC/p-Si heterostructure prepared by laser ablation of silicon in ethanol. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 68, 252–261.
- Ivanov, P.A. and Chelnokov, V.E. (1992). Recent developments in SiC single-crystal electronics. *Semicond. Sci. Technol.*, 7, 863.
- Johnson, R.A., Witulski, A.F., Ball, D.R., Galloway, K.F., Sternberg, A.L., Zhang, E., Ryder, L.D., Reed, R.A., Schrimpf, R.D., Kozub, J.A., Lauenstein J.M. and Javanainen, A. (2019). Enhanced Charge Collection in SiC Power MOSFETs Demonstrated by Pulse-Laser Two-Photon Absorption SEE Experiments. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 66 (7), 1694-1701.
- Kempf, R.W., Wilson, P.T., Canterbury, J.D., Mishina, E.D., Aktsipetrov, O.A., and Downer, M.C. (1999). Third and fourth harmonic generation at Si-SiO₂ interfaces and in Si-SiO₂-Cr MOS structures. *Applied Physics B*, 68, 325-332.
- Kim, U., Kim, I., Park, Y., Lee, K.Y., Yim, S.Y., Park, J.G., Ahn, H.G., Park, S.H. and Choi, H. J. (2011). Synthesis of Si nanosheets by a chemical vapor deposition process and their blue emissions. *ACS Nano*, 5 (3), 2176-2181.
- Lambert, J.H. (1892). *Lamberts Photometrie: (Photometria, sive De mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae)*. Anding E., 1728-1777.
- Lan, Y.Z. (2018). First-principles studies of effects of layer stacking, opposite atoms, and stacking order on two-photon absorption of two-dimensional layered silicon carbide. *Computational Materials Science*, 151, 231-239.
- Lee, K.M., Choi, T.Y., Lee, S.K. and Poulikakos, D. (2010). Focused ion beam-assisted manipulation of single and double β -SiC nanowires and their thermal conductivity measurements by the four-point-probe $3-\omega$ method. *Nanotechnology*, 21, 125301.
- Lin, G.R., Wu, C.L., Cheng, C.H. and Lin, Y.H. (2015). Edited by Stephen E. Sadow and Francesco La Via, *Advanced Silicon Carbide Devices and Processing*, IntechOpen, <https://doi.org/10.5772/59734>.
- Lin, Q., Painter, O.J. and Agrawal, G.P. (2007). Nonlinear optical phenomena in silicon waveguides: Modeling and applications. *Opt. Express*, 15, 16604-16644.
- Lin, X., Li, X., Zhang, Y., Hou, Y., Liu, X., Deng, C. and Zhou, Q. (2019). Third harmonic generation on silicon surface induced by femtosecond laser. *Optics & Laser Technology*, 111, 255-261.
- Litchinitser, N.M. and Shalaev, V.M. (2008). Photonic metamaterials. *Laser Phys. Lett.*, 5, 411.
- Lohrmann, A., Johnson, B.C., McCallum, J.C. and Castelletto, S. (2017). A review on single photon sources in silicon carbide. *Rep. Prog. Phys.*, 80, 034502.
- Lu, X., Lee, J.Y., Rogers, S. and Lin, Q. (2014). Optical Kerr nonlinearity in a high-Q silicon carbide microresonator. *Opt. Express*, 22, 30826–30832.
- Mbaye, N., Pouget, V., Darracq, F. and Lewis, D. (2013). Characterization and modeling of laser-induced single-event burn-out in SiC power diodes. *Microelectronics Reliability*, 53(9-11), 1315-1319.
- Mitchel, W., Zvanut, M. and Landis, G. (2004). High Temperature Hall effect measurements of semi-insulating 4H-SiC substrates. *Solid-State Electronics*, 48 (10-11), 1693-1697.
- Perevislov, S.N., Motaylo, E.S., Novoselov, E.S. and Nesselov, D.D. (2020). Thermal conductivity of SiC-B₄C materials obtained by reaction-sintering method. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 848 (1), 012066.
- Shcherbakov, M.R., Neshev, D.N., Hopkins, B., Shorokhov, A.S., Staude, I., Melik-Gaykazyan, E.V., Decker, M., Ezhoa, A.A., Miroshnichenko, A.E., Brener, I., Fedyanin, A.A. and Kivshar, Y.S. (2014). Enhanced third-harmonic generation in silicon nanoparticles driven by magnetic response. *Nano letters*, 14 (11), 6488-6492.
- Shenai, K., Scott, R.S. and Baliga, B.J. (1989). Optimum semiconductors for high power electronics. *IEEE Trans. Electron Devices*, 36, 1811–23.
- Skromme, B.J., Luckowski, E., Moore, K., Bhatnagar, M., Weitzel, C.E., Gehoski, T. and Ganser, D. (2000). Electrical characteristics of Schottky barriers on 4H-SiC: The effects of barrier height nonuniformity. *Journal of Electronic Materials*, 29, 376-383.
- Streetman, B.G. and Banerjee, S.K. (2000). *Fundamentals of semiconductor physics and devices*. 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Su, L., Zhou, D., Lu, H., Zhang, R. and Zheng, Y. (2019). Recent progress of SiC UV single photon counting avalanche photodiodes. *J. Semicond.*, 40, 121802.
- Syu, S.C., Cheng, C.H., Wang, H.Y., Chi, Y.C., Wu, C.I. and Lin, G.R. (2018). Realizing multi-functional all-optical data processing on nanoscale SiC waveguides. *Sci. Rep.*, 8 (1), 14859.
- Wang, B., Wang, Y., Lei, Y., Wu, N., Gou, Y., Han, C. and Fang, D. (2014). Hierarchically porous SiC ultrathin fibers mat with enhanced mass transport, amphiphatic property and high-temperature erosion

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1327295

- resistance. *Journal of Materials Chemistry A*, 2 (48), 20873-20881.
- Wei, R., Song, S., Yang, K., Cui, Y., Peng, Y., Chen, X., Hu, X. and Xu, X. (2013). Thermal conductivity of 4H-SiC single crystals. *Journal of Applied Physics* 113, 053503.
- Weitzel, C.E., Palmour, J.W., Carter, C.H., Moore, K., Nordquist, K.K., Allen, S., Thero, C. and Bhatnagar, M. (1996) Silicon carbide high-power devices. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 43 (10), 1732–1741.
- Wellmann, P.J. (2018). Review of SiC crystal growth technology. *Semicond. Sci. Technol.*, 33, 103001.
- Wherrett, B.S. (1984). Scaling rules for multiphoton interband absorption in semiconductors. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1 (1), 67–72 .
- Wright, N.G. and Horsfall, A.B. (2007). SiC sensors: A review. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 40, 6345.
- Yamada, S., Song, B., Jeon, S., Upham, J., Tanaka, Y., Asano, T. and Noda, S. (2014). Second-harmonic generation in a silicon-carbide-based photonic crystal nanocavity. *Optics letters*, 39 (7), 1768-71.
- Yi, G., Lee, H., Jiannan, J., Chun, B. J., Han, S., Kim, H., Kim, Y.W., Kim, D., Kim, S.W. and Kim, Y.J. (2017). Nonlinear third harmonic generation at crystalline sapphires. *Optics Express*, 25 (21), 26002-26010.
- Zhang, F. (2015). High-responsivity SiC Ultraviolet Photodetectors with SiO₂ and Al₂O₃ Films, *Advanced Silicon Carbide Devices and Processing Book*, Chapter 7, 199-220.
- Zhang, J., Zhao, W., Yu, P., Yang, G. and Liu, Z. (2020). Second harmonic generation in 2D layered materials. *2D Mater.*, 7, 042002.

Scattering State Solutions of Vector Bosons Interacting with Sun Potential

Ahmet Taş

Harran University, Health Services Vocational School, Optician Program, Şanlıurfa, Türkiye
 ahmettas@harran.edu.tr 

Received date: 02.10.2023, Accepted date: 14.11.2023

Abstract

For vector bosons with spin-1, scattering state solutions have been attained by considering the Duffin-Kemmer-Petiau equation with the Sun interaction field. Based on the obtained solution, relations for phase shift and scattering amplitude have been derived. Furthermore, the bound state energy eigenvalue relation has been derived by taking the scattering amplitude to infinity. The results obtained through the Mathematica software program are presented graphically and numerically. In addition, the effects of the variables in the interaction function on the obtained results are discussed.

Keywords: Scattering states, bound states, Duffin-Kemmer-Petiau equation, sun potential

Sun Potansiyel ile Etkileşen Vektör Bozonlarının Saçılma Durumu Çözümleri

Öz

Spini-1 olan vektör bozonlar için Sun potansiyeli varlığında Duffin-Kemmer-Petiau denklemi ele alınarak saçılma durumu çözümleri elde edilmiştir. Elde edilen çözümler kullanılarak faz kayması ve saçılma genliği için bağıntılar türetilmiştir. Ayrıca saçılma genliğini sonsuza götürerek bağlı durum enerji özdeğerleri denklemi elde edilmiştir. Mathematica yazılım programı aracılığıyla elde edilen sonuçlar grafiksel ve nümerik olarak verilmiştir. Bunlara ek olarak etkileşme fonksiyonunda yer alan değişkenlerin elde edilen sonuçlara olan etkileri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Saçılma durumları, bağlı durumlar, Duffin-Kemmer-Petiau denklemi, sun potansiyeli

INTRODUCTION

The Duffin-Kemmer-Petiau (DKP) equation defines scalar (spin 0) and vector (spin 1) bosons on the same basis and is a first-order relativistic equation (Kemmer, 1939; Duffin, 1938; Petiau, 1936). This equation is of great importance of these various applications in nuclear physics, particle physics, quantum chromo dynamics (QCD) and cosmology. For instance, in QCD theory it can be used to investigated deuteron-nucleus elastic scattering (Kozack, Clark, Hama, Mishra, Mercer and Ray, 1989; Gribov, 1999). This equation is a Dirac-type equation (by replacing the algebra of the gamma matrices with beta matrices) and can be expressed by different matrices that follow different commutative rules and represented by five and ten component representations that work for spin-0 and spin-1 bosons, respectively. Under a vector potential, the scalar boson representation of the DKP equation has the same mathematical structure as the Klein-Gordon (KG) equation, and the vector boson

representation has the same mathematical structure as the Proca equation. However, the DKP equation is more comprehensive than the KG and Proca equations due to its more complex structure (Nedjadi and Barrett, 1993; Nedjadi and Barrett, 1994; Nedjadi and Barrett, 1994)

Scattering and bound state solutions to the wave equation are of great importance in quantum mechanics because the wave functions obtained from these solutions contain all the information needed to describe the entire quantum system. Therefore, there are many studies using different methods on physical potentials related to the relativistic and the non-relativistic particle equations (Taş and Havare, 2017; Taş, Aydoğdu, and Saltı, 2017; Taş and Havare, 2018; Taş, Aydoğdu and Saltı, 2018; Yanar, Taş, Saltı and Aydoğdu, 2020; Edet, Amadi, Okorie, Taş, Ikot and Rampho, 2020; Okorie, Taş, Ikot, Osobonye and Rampho, 2021). In recent years, many studies have been conducted to

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1369826

consider different interaction types for various representation of the DKP equation (Taş, 2021; Hassanabadi, Forouhandeh, Rahimov, Zarrinkamar and Yazarloo, 2012; Hamzavi and Ikhdair, 2013; Zarrinkamar, Rajabi, Yazarloo and Hassanabadi, 2013; Bahar, 2013; Bahar, and Yasuk, 2013; Bahar and Yasuk, 2014; Onate, Ojonubah, Adeoti, Eweh and Ugboja, 2014; Ikot, Molaee, Maghsoodi, Zarrinkamar, Obong and Hassanabadi, 2015; Zarrinkamar, Panahi and Rezaei, 2016; Oluwadare and Oyewumi, 2017; Oluwadare and Oyewumi, 2018). However, when the existing literature is examined, it is seen that most of the research is on the spin-0 representation of the DKP equation. This is mainly due to the mathematical resemblance of the DKP equation with the KG equation under a vector potential. Since the form of this equation for vector bosons has a more complex structure and is much more difficult to solve. For this reason, it has not been discussed extensively (Hassanabadi, Yazarloo, Zarrinkamar and Rajabi, 2011). The first goal of this study is to obtain the scattering state solutions of vector bosons interacting with the Sun potential field, which have been previously described in the literature and are successful in describing many diatomic structures, and to obtain the phase shift equation, scattering amplitude and bound state energy eigenvalues, respectively, through these solutions. Its other goal is to investigate the effect of the parameters in the interaction field on the physical quantities obtained.

This paper is planned as follows: first, the properties of the DKP equation will be given in the material method section. In the result and discussion section, scattering state solutions of the DKP equation in the (1+3) dimension will be obtained for vector bosons in the presence of the Sun potential. Phase shift and scattering amplitude relations will be derived by using scattering state solutions in the same section. Additionally, the singular points of the scattering amplitude will be discussed and through this feature, the bound state energy eigenvalues relation will be attained. Finally, in the conclusion section, phase shift and bound state energy eigenvalues for different quantum states will be calculated numerically and expressed in tables using

the Mathematica software program. Besides, the influence of the variables in the interaction field on the physical quantities obtained will be presented graphically.

MATERIAL AND METHODS

The DKP equation for a \mathcal{U} interaction with m_0 field is given in the following form ($\hbar = c = 1$) (Kemmer, 1939; Duffin, 1938; Petiau, 1936).

$$(i\beta^\mu \delta_\mu - m_0 - \mathcal{U})\Psi = 0 \tag{1}$$

β^μ are DKP matrices of 5×5 for spin-0 and 10×10 for spin-1. These matrices satisfy the following commutation relation:

$$\beta^\mu \beta^\nu \beta^\lambda + \beta^\lambda \beta^\nu \beta^\mu = g^{\mu\nu} \beta^\lambda + g^{\lambda\nu} \beta^\mu \tag{2}$$

β^μ matrices for spin-1 are given as

$$\beta^0 = \begin{pmatrix} 0 & \bar{0} & \bar{0} & \bar{0} \\ \bar{0}^T & 0 & I & 0 \\ \bar{0}^T & I & 0 & 0 \\ \bar{0}^T & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$\beta^i = \begin{pmatrix} 0 & \bar{0} & e_i & \bar{0} \\ \bar{0}^T & 0 & 0 & -iS_i \\ -e_i^T & 0 & 0 & 0 \\ \bar{0}^T & -iS_i & 0 & 0 \end{pmatrix} \tag{3}$$

Here S_i , I , and 0 are spin-1, identity and zero matrices, respectively. The matrices $\bar{0}$ and e_i are defined as follows:

$$\begin{aligned} e_1 &= (1, 0, 0), & e_2 &= (0, 1, 0), \\ e_3 &= (0, 0, 1), & \bar{0} &= (0, 0, 0) \end{aligned} \tag{4}$$

The general form of the interaction potential in Eq. (1) is given as follows:

$$\mathcal{U} = S(r) + PS_\mu(r) + \beta^\mu V_\mu(r) + \beta^\mu PV_{P\mu}(r) \tag{5}$$

This expression takes the following form under rotational invariance and parity conservation for an elastic scattering

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1369826

$$U = S(r) + PS_{\mu}(r) + \beta^0 V(r) + \beta^0 PV_P(r) \quad (6)$$

Each term in this equation has Lorentz character. Under rotational invariance and parity conservation, the two Lorentz vectors β^{μ} and $P\beta^{\mu}$ can be written, so that the projection operator is $P = (\beta^{\mu}\beta_{\mu} - 2) = \text{diag}(1,1,1,1,0,0,0,0,0,0)$. Thus, there are four admissible representation of interplay potential expressed as follows:

$$U = PS(r) + \beta^0 PV(r) \quad (7)$$

$$U = S(r) + \beta^0 V(r) \quad (8)$$

$$U = PS(r) + \beta^0 V(r) \quad (9)$$

$$U = S(r) + \beta^0 PV(r) \quad (10)$$

These states are concerted for the study of different physical systems. For instance, Eq. (8) is connected with the investigation of deuteron-nucleus scattering (Kozack, Clark, Hama, Mishra, Mercer, and Ray, 1989). In this study, Eq. (7) will be used as the interaction potential. (Molae, Ghominejad, Hassanabadi and Zarrinkamar, 2012; Bahar, and Yasuk, 2014). The DKP equation is written as follows in the presence of the interaction potential defined in Eq. (7):

$$[i\beta^{\mu}\delta_{\mu} - m_0 - \beta^0 PV(r)]\Psi = 0 \quad (11)$$

Here Ψ is a ten-component spinor describing the dynamics of spin-1 particles. To get time-independent solutions, the solution of Eq. (11) is suggested as follows:

$$\Psi_{n,l}^T(x, y, z, t) = e^{(-iE_{n,l}t)}\psi_{n,l}(x, y, z) \quad (12)$$

For spin-1 representation, ten-component wave function is written as:

$$\psi_{n,l}^T(x, y, z) = \left(\varphi_{n,l}^{(1)}, \varphi_{n,l}^{(2)}, \varphi_{n,l}^{(3)}, \varphi_{n,l}^{(4)}, \varphi_{n,l}^{(5)}, \varphi_{n,l}^{(6)}, \varphi_{n,l}^{(7)}, \varphi_{n,l}^{(8)}, \varphi_{n,l}^{(9)}, \varphi_{n,l}^{(10)} \right)^T \quad (13)$$

Writing the wave functions expressed in Equation (14) as follows:

$$\varphi_{n,l}^{(1)} = i\phi_{n,l}, \quad \vec{F} = \left(\varphi_{n,l}^{(2)}, \varphi_{n,l}^{(3)}, \varphi_{n,l}^{(4)} \right),$$

$$\vec{G} = \left(\varphi_{n,l}^{(5)}, \varphi_{n,l}^{(6)}, \varphi_{n,l}^{(7)} \right), \quad \vec{H} = \left(\varphi_{n,l}^{(8)}, \varphi_{n,l}^{(9)}, \varphi_{n,l}^{(10)} \right), \quad (14)$$

and by substituting these functions in Eq. (11) and performing the necessary intermediate operations, the following ten coupled equations are obtained.

$$i \left(\frac{\partial \varphi_{n,l}^{(2)}}{\partial x} - \frac{\partial \varphi_{n,l}^{(1)}}{\partial y} \right) = m_0 H_{n,l}^{(3)}, \quad (15)$$

$$i \left(\frac{\partial \varphi_{n,l}^{(1)}}{\partial z} - \frac{\partial \varphi_{n,l}^{(3)}}{\partial x} \right) = m_0 H_{n,l}^{(2)}, \quad (16)$$

$$i \left(\frac{\partial \varphi_{n,l}^{(3)}}{\partial y} - \frac{\partial \varphi_{n,l}^{(2)}}{\partial z} \right) = m_0 H_{n,l}^{(1)}, \quad (17)$$

$$\left(\frac{\partial G_{n,l}^{(3)}}{\partial z} + \frac{\partial G_{n,l}^{(2)}}{\partial y} + \frac{\partial G_{n,l}^{(1)}}{\partial x} \right) = m_0 \phi_{n,l}, \quad (18)$$

$$E_{n,l} G_{n,l}^{(1)} + i \left(\frac{\partial H_{n,l}^{(3)}}{\partial z} - \frac{\partial H_{n,l}^{(2)}}{\partial y} \right) = m_0 F_{n,l}^{(1)}, \quad (19)$$

$$E_{n,l} G_{n,l}^{(2)} + i \left(\frac{\partial H_{n,l}^{(1)}}{\partial z} - \frac{\partial H_{n,l}^{(3)}}{\partial x} \right) = m_0 F_{n,l}^{(2)}, \quad (20)$$

$$E_{n,l} G_{n,l}^{(3)} + i \left(\frac{\partial H_{n,l}^{(2)}}{\partial x} - \frac{\partial H_{n,l}^{(1)}}{\partial y} \right) = m_0 F_{n,l}^{(3)}, \quad (21)$$

$$[E_{n,l} - V(r)]F_{n,l}^{(1)} + \frac{\partial \varphi}{\partial x} = m_0 G_{n,l}^{(1)}, \quad (22)$$

$$[E_{n,l} - V(r)]F_{n,l}^{(2)} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} = m_0 G_{n,l}^{(2)}, \quad (23)$$

$$[E_{n,l} - V(r)]F_{n,l}^{(3)} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} = m_0 G_{n,l}^{(3)}. \quad (24)$$

Combining the above ten equations, we get

$$i\vec{\nabla} \times \vec{F} = m_0 \vec{H} \quad (25)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{G} = m_0 \phi_{n,l}, \quad (26)$$

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1369826

$$E_{n,l}\vec{G} + i\vec{\nabla} \times \vec{H} = m_0\vec{F}, \tag{27}$$

$$[E_{n,l} - V(r)]\vec{F} + \vec{\nabla}\phi_{n,l} = m_0\vec{G}, \tag{28}$$

and thus, using the above equations, we arrive at the following expression

$$\{E_{n,l}[E_{n,l} - V(r)] - m_0^2\}\vec{F} - \vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{F}) + \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{F}) = 0 \tag{29}$$

If the following identity for the term $\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{F})$ is used in this expression as

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{F}) = \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{F}) - \nabla^2\vec{F} = \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{F}) - \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial}{\partial r} - \frac{L^2}{r^2}\right)\vec{F} \tag{30}$$

we get the following differential equation

$$\left\{\frac{d^2}{dr^2} + \frac{2}{r}\frac{d}{dr} + E_{n,l}^2 - E_{n,l}V(r) - m_0^2 - \frac{l(l+1)}{r^2}\right\}\vec{F} = 0 \tag{31}$$

This equation formally has the same structure as the Proca equation (Castro and De Castro, 2014). In order to remove the first derivative in this expression, the wave functions recommended as

$$\vec{F} = r^{-1}\vec{R}$$

$$\begin{pmatrix} \varphi_{n,l}^{(2)} \\ \varphi_{n,l}^{(3)} \\ \varphi_{n,l}^{(4)} \end{pmatrix} = r^{-1} \begin{pmatrix} R_{n,l}^{(2)} \\ R_{n,l}^{(3)} \\ R_{n,l}^{(4)} \end{pmatrix}$$

$$(R_{n,l}^{(2)} = R_{n,l}^{(3)} = R_{n,l}^{(4)} = R_{n,l}) \tag{32}$$

and if Eq. (31) is rearranged, we gain

$$\left\{\frac{d^2}{dr^2} + E_{n,l}^2 - E_{n,l}V(r) - m_0^2 - \frac{l(l+1)}{r^2}\right\}R_{n,l}(r) = 0 \tag{33}$$

RESULTS AND DISCUSSION

The Sun interaction field describing diatomic molecules is defined as follows (Sun, 1999):

$$V_{Sun}(r) = \frac{D_e e^{-2(\frac{\alpha}{r_e})r} (e^{\alpha-\lambda})^2}{\left(1 - \lambda e^{-\frac{\alpha}{r_e}r}\right)^2} - \frac{2D_e e^{-\frac{\alpha}{r_e}r} (e^{\alpha-\lambda})}{1 - \lambda e^{-\frac{\alpha}{r_e}r}} \tag{34}$$

where D_e indicates the dissociation energy, r_e indicates the equilibrium bond length, α and λ are two dimensionless variables. This function can be reduced to the Tietz function with appropriate selection of parameters (Jia, Wang, He and Sun, 2000; Liang, Tang and Jia, 2013). It will be sufficient to use Eq. (33) to find the scattering state solutions of spin-1 vector bosons interacting with this field function.

By substituting Eq. (34) into Eq. (33), the following expression is obtained

$$\left\{\frac{d^2}{dr^2} + E_{n,l}^2 - E_{n,l} \left(\frac{D_e e^{-2(\frac{\alpha}{r_e})r} (e^{\alpha-\lambda})^2}{\left(1 - \lambda e^{-\frac{\alpha}{r_e}r}\right)^2} - \frac{2D_e e^{-\frac{\alpha}{r_e}r} (e^{\alpha-\lambda})}{1 - \lambda e^{-\frac{\alpha}{r_e}r}}\right) - m_0^2 - \frac{l(l+1)}{r^2}\right\}R_{n,l} = 0 \tag{34}$$

For the term $1/r^2$ in this expression, a Pekeris-Type approach is applied as (Pekeris, 1934)

$$\frac{1}{r^2} \approx \frac{1}{r_e^2} \left(\mathfrak{D}_0 + \frac{\mathfrak{D}_1 e^{-\frac{\alpha}{r_e}r}}{1 - \lambda e^{-\frac{\alpha}{r_e}r}} + \frac{\mathfrak{D}_2 e^{-2(\frac{\alpha}{r_e})r}}{\left(1 - \lambda e^{-\frac{\alpha}{r_e}r}\right)^2} \right) \tag{36}$$

If this equation is expanded to the Taylor series, the \mathfrak{D}_0 , \mathfrak{D}_1 and \mathfrak{D}_2 coefficients in the expression are calculated as follows:

$$\mathfrak{D}_0 = 1 + \frac{1}{\alpha^2} (3 - 3\alpha - 6\lambda e^{-\alpha} + 3\lambda^2 e^{-2\alpha} + 2\lambda\alpha e^{-\alpha} + \lambda^2\alpha e^{-2\alpha})$$

$$\mathfrak{D}_1 = \frac{2}{\alpha^2} (9\lambda - 3\lambda\alpha - 3e^{-\alpha} + 2\alpha e^{-\alpha} - 9\lambda^2 e^{-\alpha} + 3\lambda^3 e^{-2\alpha} + \lambda^3\alpha e^{-2\alpha})$$

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1369826

$$\mathfrak{D}_2 = \frac{1}{\alpha^2} (18\lambda^2 - 12\lambda e^\alpha + 3e^{2\alpha} + 2\lambda\alpha e^\alpha - \alpha e^{2\alpha} - 12\lambda^3 e^{-\alpha} + 3\lambda^4 e^{-2\alpha} - 2\lambda^3 \alpha e^{-\alpha} + \lambda^4 \alpha e^{-2\alpha}) \quad (37)$$

The suitability of this approach can be seen in Figure 2. By substituting Eq. (36) into Eq. (35) and defining a new variable in the form $\eta = 1 - \left(1 - \lambda e^{-\left(\frac{\alpha}{r_e}\right)r}\right)^{-1}$, the following expression is obtained

$$\eta(1 - \eta) \frac{d^2 R_{nl}(\eta)}{d\eta^2} + (1 - 2\eta) \frac{dR_{nl}(\eta)}{d\eta} + \frac{1}{\eta(1-\eta)} [-\gamma_1 + \gamma_2\eta - \gamma_3\eta^2] R_{nl}(\eta) = 0 \quad (38)$$

where

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \frac{(m_0^2 - E_{n,l}^2)r_e^2}{\alpha^2} \\ &+ \frac{[(e^\alpha - \lambda)^2 + 2(e^\alpha - \lambda)D_e\lambda]E_{n,l}r_e^2}{\alpha^2\lambda^2} \\ &+ \frac{l(l+1)(\mathfrak{D}_0\lambda^2 - \mathfrak{D}_1\lambda + \mathfrak{D}_2)}{\alpha^2\lambda^2}, \\ \gamma_2 &= \frac{2[(e^\alpha - \lambda)^2 + (e^\alpha - \lambda)D_e\lambda]E_{n,l}r_e^2}{\alpha^2\lambda^2} \\ &+ \frac{l(l+1)(2\mathfrak{D}_2 - \mathfrak{D}_1\lambda)}{\alpha^2\lambda^2}, \\ \gamma_3 &= \frac{(e^\alpha - \lambda)^2 D_e E_{n,l} r_e^2}{\alpha^2 \lambda^2} + \frac{l(l+1)\mathfrak{D}_2}{\alpha^2 \lambda^2}, \end{aligned} \quad (39)$$

In order to remove the singularity at the points $\eta = 0$ and $\eta = 1$ in Eq. (39), the wave function is proposed again as $R_{nl}(\eta) = \eta^\beta (1 - \eta)^{-\frac{ikr_e}{\alpha}} \mathcal{F}_{nl}(\eta)$ and when the necessary operations are carried out, we reach

$$\eta(1 - \eta) \frac{d^2 \mathcal{F}_{nl}}{d\eta^2}$$

$$+ [\varrho_3 - (\varrho_1 + \varrho_2 + 1)] \frac{d\mathcal{F}_{nl}}{d\eta} - \varrho_1 \cdot \varrho_2 \mathcal{F}_{nl} = 0 \quad (40)$$

Where

$$\beta = \sqrt{\gamma_1}, \quad k = \frac{\alpha}{r_e} \sqrt{\gamma_2 - \gamma_3 - \gamma_1},$$

$$\sigma = \pm \frac{1}{2} \sqrt{1 + 4\gamma_3}, \quad \varrho_1 = \beta - \frac{ikr_e}{\alpha} + \sigma + \frac{1}{2},$$

$$\varrho_2 = \beta - \frac{ikr_e}{\alpha} - \sigma + \frac{1}{2}, \quad \varrho_3 = 1 + 2\beta \quad (41)$$

Using the property of the Gauss Hypergeometric equation (Flügge, 1999), the solution for Eq. (40) becomes:

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{nl}(\eta) &= A_1 {}_2F_1(\varrho_1, \varrho_2, \varrho_3, \eta) \\ &+ A_2 \eta^{1-\varrho_3} {}_2F_1(\varrho_1 - \varrho_3 + 1, \varrho_2 - \varrho_3 + 1, 2 - \varrho_3, \eta). \end{aligned} \quad (42)$$

Thus, we get:

$$\begin{aligned} R_{nl}(\eta) &= A_1 \eta^\beta (1 - \eta)^{-\frac{ikr_e}{\alpha}} \\ &\times {}_2F_1(\varrho_1, \varrho_2, \varrho_3, \eta) + A_2 \eta^{-\beta} (1 - \eta)^{-\frac{ikr_e}{\alpha}} \\ &\times {}_2F_1(\varrho_1 - \varrho_3 + 1, \varrho_2 - \varrho_3 + 1, 2 - \varrho_3, \eta) \end{aligned} \quad (43)$$

To gain a regular solution of the Eq. (43) and derive the relations that give the necessary physical quantities describing the scattering states, we have to consider the behavior of wave functions at their boundary points (Flügge, 1999):

i) If $r \rightarrow 0$, the $R_{nl}(\eta)$ must be get finite value. With the applying first condition, we conclude that the normalization coefficient $A_2 = 0$, so the wave functions is found as:

$$R_{nl}(\eta) = A_1 \eta^\beta (1 - \eta)^{-\frac{ikr_e}{\alpha}} {}_2F_1(\varrho_1, \varrho_2, \varrho_3, \eta) \quad (44)$$

ii) If $r \rightarrow \infty$, the attitude of the $R_{nl}(\eta)$ at infinity smust be as follows (Landau and Lifshitz, 1977)

$$R_{nl}(\infty) \rightarrow 2 \sin(kr - \frac{1}{2}l\pi + \phi) \quad (45)$$

where ϕ is the phase shift. Under this condition, Eq. (44) takes the following form

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1369826

$$R_{nl}(r \rightarrow \infty) \rightarrow A_1 \left(-\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{ikr_e}{\alpha}} e^{ikr} {}_2F_1(\varrho_1, \varrho_2, \varrho_3, 1 - \frac{1}{1-\lambda} e^{-\frac{\alpha}{r_e}r}) \tag{46}$$

We can write the recurrence relation given for the Hypergeometric function in this equation (Flügge, 1999) and taking ${}_2F_1(\varrho_1, \varrho_2, \varrho_3, 0) = 1$ for $r \rightarrow \infty$, we get

$${}_2F_1(\varrho_1, \varrho_2, \xi\varrho_3, 1) \xrightarrow{r \rightarrow \infty} \Gamma(\varrho_3) \left\{ \begin{aligned} &\frac{\Gamma(\varrho_3 - \varrho_2 - \varrho_1)}{\Gamma(\varrho_3 - \varrho_1)\Gamma(\varrho_3 - \varrho_2)} \\ &+ \left(-\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{2ikr_e}{\alpha}} e^{-2ikr} \frac{\Gamma(\varrho_1 + \varrho_2 - \varrho_3)}{\Gamma(\varrho_1)\Gamma(\varrho_2)} \end{aligned} \right\} \tag{47}$$

When the following relations are used

$$\begin{aligned} \varrho_1 + \varrho_2 - \varrho_3 &= -\frac{2ikr_e}{\alpha} = (\varrho_3 - \varrho_2 - \varrho_1)^*, \\ \varrho_3 - \varrho_1 &= \beta + \frac{ikr_e}{\alpha} - \sigma + \frac{1}{2} = (\varrho_2)^*, \\ \varrho_3 - \varrho_2 &= \beta + \frac{ikr_e}{\alpha} + \sigma + \frac{1}{2} = (\varrho_1)^* \end{aligned} \tag{48}$$

and required calculations are taken, we find

$${}_2F_1(\varrho_1, \varrho_2, \varrho_3, 1) \xrightarrow{r \rightarrow \infty} \Gamma(\varrho_3) \left(-\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{ikr_e}{\alpha}} \left\{ \begin{aligned} &\frac{\Gamma(\varrho_3 - \varrho_2 - \varrho_1) \left(-\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{ikr_e}{\alpha}}}{\Gamma(\varrho_3 - \varrho_1)\Gamma(\varrho_3 - \varrho_2)} \\ &+ e^{-2ikr} \left[\frac{\Gamma(\varrho_3 - \varrho_2 - \varrho_1) \left(-\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{ikr_e}{\alpha}}}{\Gamma(\varrho_3 - \varrho_1)\Gamma(\varrho_3 - \varrho_2)} \right]^* \end{aligned} \right\} \tag{49}$$

By using relations below

$$\begin{aligned} &\frac{\Gamma(\varrho_3 - \varrho_2 - \varrho_1)}{\Gamma(\varrho_3 - \varrho_1)\Gamma(\varrho_3 - \varrho_2)} \\ &= \left| \frac{\Gamma(\varrho_3 - \varrho_2 - \varrho_1)}{\Gamma(\varrho_3 - \varrho_1)\Gamma(\varrho_3 - \varrho_2)} \right| e^{i\vartheta_1}, \end{aligned}$$

$$\left(-\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{ikr_e}{\alpha}} = \left| \left(-\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{ikr_e}{\alpha}} \right| e^{i\vartheta_2}, \tag{50}$$

and inserting these expressions in Eq.(49), we have

$$\begin{aligned} &{}_2F_1(\varrho_1, \varrho_2, \varrho_3, 1) \xrightarrow{r \rightarrow \infty} 2\Gamma(\varrho_3) \left(-\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{ikr_e}{\alpha}} e^{-ikr} \\ &\times \left| \frac{\Gamma(\varrho_3 - \varrho_2 - \varrho_1) \left(-\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{ikr_e}{\alpha}}}{\Gamma(\varrho_3 - \varrho_1)\Gamma(\varrho_3 - \varrho_2)} \right| \sin\left(kr + \vartheta_1 + \vartheta_2 + \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \tag{51}$$

The replacement of the Eq.(51) into the Eq.(46) yields

$$\begin{aligned} R_{nl}(r) \xrightarrow{r \rightarrow \infty} &2A_1\Gamma(\varrho_3) \left| \frac{\Gamma(\varrho_3 - \varrho_2 - \varrho_1) \left(-\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{ikr_e}{\alpha}}}{\Gamma(\varrho_3 - \varrho_1)\Gamma(\varrho_3 - \varrho_2)} \right| \\ &\times \sin\left(kr + \vartheta_1 + \vartheta_2 + \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \tag{52}$$

Matching the Eq. (52) with the Eq. (45), we get:

$$A_1 = \frac{1}{\Gamma(\varrho_3)} \left| \frac{\Gamma(\varrho_3 - \varrho_1)\Gamma(\varrho_3 - \varrho_2) \left(-\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{ikr_e}{\alpha}}}{\Gamma(\varrho_3 - \varrho_2 - \varrho_1)} \right| \tag{53}$$

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{1}{2}(l+1)\pi + \arg \Gamma(\varrho_3 - \varrho_2 - \varrho_1) - \\ &\arg \Gamma(\varrho_3 - \varrho_1) - \arg \Gamma(\varrho_3 - \varrho_2) + \\ &\arg \left(-\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{ikr_e}{\alpha}} \end{aligned} \tag{54}$$

If the scattering amplitude goes to infinity ($A_1 \rightarrow \infty$), continuum states occur and thus we can obtain bound state energy eigenvalues. By using the following property of Gamma functions as

$$\begin{aligned} \Gamma(\chi) &= \frac{\Gamma(\chi+1)}{\chi} = \frac{\Gamma(\chi+2)}{\chi(\chi+1)} \\ &= \frac{\Gamma(\chi+3)}{\chi(\chi+1)(\chi+2)} = \dots \quad \chi = 0, -1, -2, -3, \dots \end{aligned} \tag{55}$$

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1369826

One can easily obtain the singular pole points Eq. (53) as $q_3 - q_1 = n$ or $q_3 - q_2 = n$. Hence, the condition becomes

$$\beta - \frac{ikr_e}{\alpha} - \sigma + \frac{1}{2} = -n \tag{56}$$

By using these equation and definition given in Eq.(39) and Eq. (41), the energy eigenvalues is found as follows:

$$E_{n,l}^2 - m_0^2 - \frac{E_{n,l}(e^\alpha - \lambda)(e^\alpha - \lambda + 2)D_e}{\lambda^2} - \frac{(C_0\lambda^2 - C_1\lambda + C_2)l(l+1)}{\lambda^2 r_e^2} + \frac{\alpha^2}{4r_e^2} \left[1 + 2n + \sqrt{\frac{\alpha^2\lambda^2 + 4l(l+1)C_2 + 4E_{n,l}(e^\alpha - \lambda)^2 D_e r_e^2}{\alpha^2\lambda^2}} \right]^2 = 0 \tag{57}$$

CONCLUSION

The DKP equation with Sun interaction field model is discussed for the first time in this study. Scattering state solutions of vector bosons were obtained. The suitability of the approach used for centrifugal term is given in Figure 1. By using the wave function, the phase shift equation and scattering amplitude relation were derived. In addition, by using scattering amplitude relation, the relation giving the bound state energy eigenvalues was directly obtained. Phase shift and energy eigenvalues were calculated numerically through the Mathematica software program.

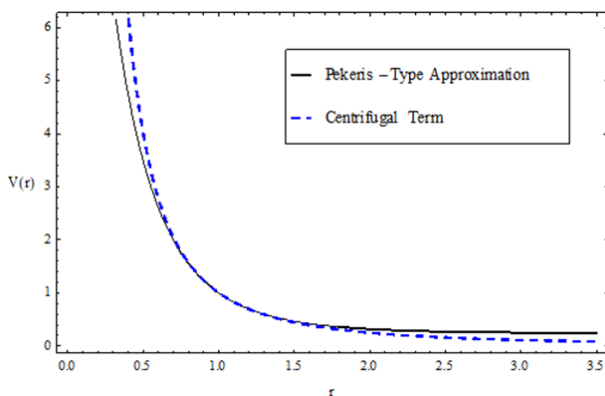


Figure 1. Graphical representation of the approximation applied to the centrifugal term for $\alpha=2$, $r_e=1$ fm and $\lambda=0.1$.

These results are presented in Table 1. and Table 2. As seen in Table 1, if the angular momentum eigenvalues increase, phase shift values increase. Also, the same situation applies if the alpha parameter increases. It can be easily seen in Table 2 that the energy eigenvalues increase if the n and l values increase.

Table 1. Calculated phase shift values for $D_e = 2 \text{ fm}^{-1}$, $\alpha = 2$, $r_e = 0.8 \text{ fm}^{-1}$, $m = 1 \text{ fm}^{-1}$, $\lambda = 0.5$ $E = 3.651 \text{ fm}^{-1}$ and $\hbar = c = 1$

l	$\phi(\alpha = 1.6)$	$\phi(\alpha = 2)$	$\phi(\alpha = 2.4)$
1	1.03030	1.82089	8.63096
2	2.62303	3.41576	10.2273
3	4.22675	5.02269	11.8364
4	5.84148	6.64172	13.4584
5	7.46728	8.27289	15.0932
6	9.10419	16.1994	16.741
7	10.7523	17.8551	18.4017
8	12.4116	18.3186	22.3612
9	16.326	20.0368	25.8844
10	21.586	28.8247	34.9442

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1369826

Table 2. Calculated energy eigenvalues for $D_e = 2 \text{ fm}^{-1}$, $\alpha = 2$, $r_e = 0.8 \text{ fm}^{-1}$, $m = 1 \text{ fm}^{-1}$, $\lambda = 0.5$ and $\hbar = c = 1$

n	l	$E_{nl} (\text{fm}^{-1})$	n	l	$E_{nl} (\text{fm}^{-1})$
1	0	0.129231	5	0	1.91933
2	0	0.377758	5	1	2.03664
2	1	0.487010	5	2	2.26547
3	0	0.754972	5	3	2.59785
3	1	0.867171	5	4	3.02697
3	2	1.079500	6	0	3.54854
4	0	1.26622	6	1	2.84562
4	1	1.38089	6	2	3.08231
4	2	1.60201	6	3	3.42908
4	3	1.91954	6	4	3.88014

The effects of the parameters in the interaction field on the energy values are shown in Figure 2 and Figure 3. If the drawings in Figure 2 are examined carefully, Energy values increase for values of the α parameter in the range $1 < \alpha < 1.22$, and decrease for values in the range $2.22 < \alpha$. This situation becomes more evident as large n and l values increase. In addition, for values of the alpha parameter in the range $\alpha < 1$, the energy values for all quantum states approach each other and go to zero. In the other drawings, it is seen that if the r_e values increase, the energy values decrease. While the difference between the energy values corresponding to different quantum states is large at small values of the r_e parameter, for $r_e > 1 \text{ fm}^{-1}$ the difference decreases and the energy values approach zero. Looking at the drawings in Figure 3, it is very easy to say that the D_e parameter behaves like the r_e parameter, but the opposite is true for the λ parameter. If the lambda parameter increases, the energy values increase and the energy values for

different quantum states diverge. For $\lambda < 0.2$, it is seen that the energy values decrease and go to zero for each quantum state.

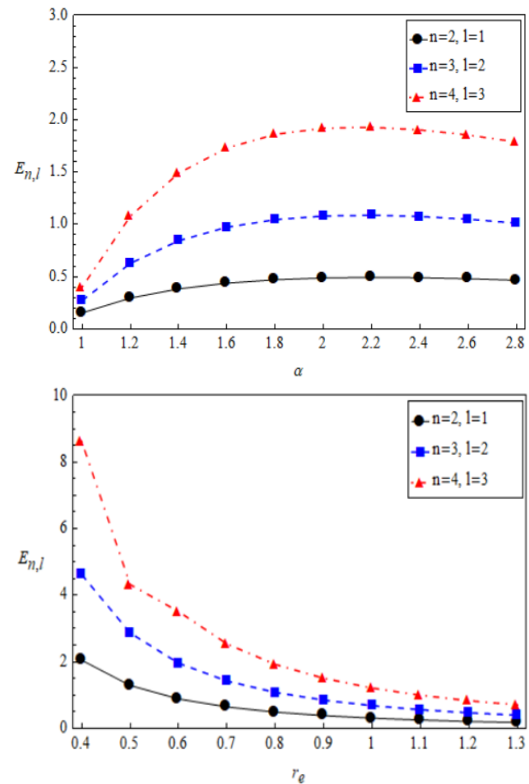


Figure 2. Variation of bound state energy eigenvalues according to α parameter for $D_e = 2 \text{ fm}^{-1}$, $r_e = 0.8 \text{ fm}^{-1}$, $m = 1 \text{ fm}^{-1}$, $\lambda = 0.5$, and r_e parameter for $D_e = 2 \text{ fm}^{-1}$, $\alpha = 2$, $m = 1 \text{ fm}^{-1}$, $\lambda = 0.5$.

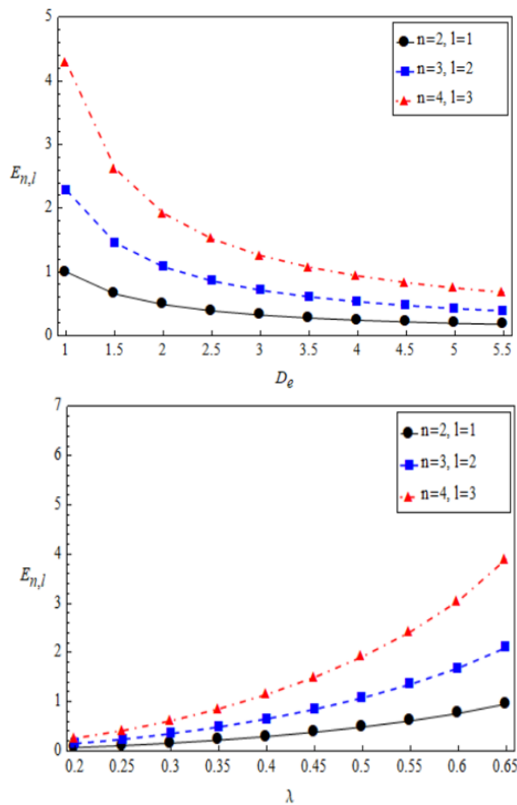


Figure 3. Variation of bound state energy eigenvalues according to D_e parameter for $\lambda = 0.5$, $\alpha = 2$, $r_e = 0.8 \text{ fm}^{-1}$, $m = 1 \text{ fm}^{-1}$ and λ parameter for $D_e = 2 \text{ fm}^{-1}$, $\alpha = 2$, $r_e = 0.8 \text{ fm}^{-1}$, $m = 1 \text{ fm}^{-1}$.

This study will be beneficial for researchers working in this field as the Sun potential has successfully described many diatomic structures and there has been no previous study for vector bosons in the presence of this model.

CONFLICT OF INTEREST

The Author report no conflict of interest relevant to this article

RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The author declares that this study complies with research and publication ethics.

REFERENCES

- Bahar, M. K. (2013). AIM solutions to the DKP equation for spin-1 particles in the presence of kratzer potential in (2+1) dimensions. *Few-Body Systems*, 54, 2133-2142.
- Bahar, M. K and Yasuk, F. (2013). Relativistic spin-1 particles with position-dependent mass under the Coulomb interaction: Exact analytical solutions of the DKP equation. *Canadian Journal of Physics*, 91(3), 191-197.
- Bahar, M. K. and Yasuk, F. (2014). Ansatz approach solution of the Duffin–Kemmer–Petiau equation for spin-1 particles with position-dependent mass in the presence of Kratzer-type potential. *Canadian Journal of Physics*, 92(12), 1565-1569.
- Bahar, M. K. and Yasuk, F. (2014). Relativistic solutions for the spin-1 particles in the two-dimensional Smorodinsky–Winternitz potential. *Annals of Physics*, 344, 105-117.
- Castro, L.B. and De Castro, A.S. (2014). Corroborating the equivalence between the Duffin-Kemmer-Petiau and the Klein-Gordon and Proca equations. *Physical Review A.*, 90(2), 022101.
- Duffin, R. J. (1938). On the characteristic matrices of covariant systems. *Physical Review*, 54(12), 1114.
- Edet, C.O., Amadi, P.O., Okorie, U.S., Taş, A., Ikot, A.N. and Rampho, G. (2020). Solutions of Schrödinger equation and thermal properties of generalized trigonometric Pöschl-Teller potential. *Revista mexicana de física*, 66(6), 824-839.
- Flügge, S. (1999). *Practical quantum mechanics* (Vol. 177). Springer Science & Business Media.
- Gribov, V. (1999). *QCD at large and short distances* (annotated version). *The European Physical Journal C-Particles and Fields*, 10, 71-90.
- Hamzavi, M. and Ikhdaïr, S.M. (2013). Approximate solution of the Duffin–Kemmer–Petiau equation for a vector Yukawa potential with arbitrary total angular momenta. *Few-Body Systems*, 54(11), 1753-1763.
- Hassanabadi, H., Forouhandeh, S.F., Rahimov, H., Zarrinkamar, S. and Yazarloo, B.H. (2012). Duffin–Kemmer–Petiau equation under a scalar and vector Hulthen potential; an ansatz solution to the corresponding Heun equation. *Canadian Journal of Physics*, 90(3), 299-304.
- Hassanabadi, H., Yazarloo, B., Zarrinkamar, S. and Rajabi, A.A. (2011). Duffin-Kemmer-Petiau

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.1369826

- equation under a scalar Coulomb interaction. *Physical Review C*, 84(6), 064003.
- Ikot, A.N., Molaee, Z., Maghsoodi, E., Zarrinkamar, S., Obong, H.P., & Hassanabadi, H. (2015). Analytical solutions of the DKP equation under Tietz-Hua potential in $(1+ 3)$ dimensions. *Physics of Particles and Nuclei Letters*, 12, 275-281.
- Jia, C.S., Wang, J.Y., He, S. and Sun, L.T. (2000). Shape invariance and the supersymmetry WKB approximation for a diatomic molecule potential. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 33(39), 6993.
- Kemmer, N. (1939). The particle aspect of meson theory. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 173(952), 91-116.
- Kozack, R.E., Clark, B.C., Hama, S., Mishra, V.K., Mercer, R.L. and Ray, L. (1989). Spin-one Kemmer-Duffin-Petiau equations and intermediate-energy deuteron-nucleus scattering. *Physical Review C*, 40(5), 2181.
- Landau, L.D. and Lifshitz, E.M. (1977). *Quantum Mechanics, Non-Relativistic Theory*. Pergamon, New York.
- Liang, G.C., Tang, H.M. and Jia, C.S. (2013). Equivalence of the Sun and Tietz potential models for diatomic molecules. *Computational and Theoretical Chemistry*, 1020, 170-172.
- Molaee, Z., Ghominejad, M., Hassanabadi, H. and Zarrinkamar, S. (2012). S-wave solutions of spin-one DKP equation for a deformed Hulthén potential in $(1+ 3)$ dimensions. *The European Physical Journal Plus*, 127(9), 1-8.
- Nedjadi, Y. and Barrett, R.C. (1993). On the properties of the Duffin-Kemmer-Petiau equation. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 19(1), 87.
- Nedjadi, Y. and Barrett, R.C. (1994). The Duffin-Kemmer-Petiau oscillator. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 27(12), 4301.
- Nedjadi, Y. and Barrett, R.C. (1994). Solution of the central field problem for a Duffin-Kemmer-Petiau vector boson. *Journal of Mathematical Physics*, 35(9), 4517-4533.
- Okorie, U.S., Taş, A., Ikot, A.N., Osobonye, G.T. and Rampho, G.J. (2021). Bound states and scattering phase shift of relativistic spinless particles with screened Kratzer potential. *Indian Journal of Physics*, 1-10.
- Oluwadare, O.J. and Oyewumi, K.J. (2017). Scattering state solutions of the Duffin-Kemmer-Petiau equation with the Varshni potential model. *The European Physical Journal A*, 53(2), 1-6, 2017.
- Oluwadare, O.J. and Oyewumi, K.J. (2018). Approximate scattering state solutions of DKPE and SSE with Hellmann Potential. *Advances in High Energy Physics*, Vol. 2018.
- Onate, C.A., Ojonubah, J.O., Adeoti, A., Eweh, J.E. and Ugboja, M. (2014). Approximate eigen solutions of DKP and Klein-Gordon equations with Hellmann potential. *African Review of Physics*, 9(006), 497-504.
- Pekeris, C.L. (1934). The rotation-vibration coupling in diatomic molecules. *Physical Review*, 45(2), 98.
- Petiau, G. (1936). Contribution a la theorie des equations dondes corpusculaire. Ph.D. Thesis, University of Paris, Published in Acad. Roy. de Belg., Classe Sci., Mem in 8° 16(2).
- Sun, J. X. (1999). Exactly solvable potential with four parameters for diatomic molecules, *Acta Physica Sinica*, 48, 1992-1998.
- Taş, A. (2021). Frost-Musulin Potansiyelinin Varlığında $(1+ 3)$ Boyutta Duffin-Kemmer-Petiau Denkleminin 1-Dalga Çözümleri. *Süleyman Demirel University Journal of Science*, 16(2).
- Taş, A., Aydoğdu, O. and Saltı, M. (2017). Dirac particles interacting with the improved Frost-Musulin potential within the effective mass formalism. *Annals of Physics*, 379, 67-82.
- Taş, A., Aydoğdu, O. and Saltı, M. (2018). Relativistic spinless particles with position dependent mass: Bound states and scattering phase shifts. *Journal of the Korean Physical Society*, 70(10), 896-904.
- Taş, A. and Havare, A. (2017). Bound states resulting from interaction of the non-relativistic particles with the multiparameter potential. *Chinese Physics B*, 26(10), 100301.
- Taş A. and Havare, A. (2018). Bound and Scattering States Solution of the Relativistic Spinless Particles in View of the Multiparameter Potential. *Few-body systems*, 59(4), 1-16.
- Yanar, H., Taş, A., Saltı, M. and Aydoğdu O. (2020). Rotational energies of CO molecule via improved generalized Pöschl-Teller potential and Pekeris-type approximation. *The European Physical Journal Plus*, 135(3), 1-14.
- Zarrinkamar, S. Panahi, H. and Rezaei, M. (2016). The generalized Coulomb interactions for relativistic scalar bosons. *Physics of Particles and Nuclei Letters*, 13(4), 436-441, 2016.

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1369826

Zarrinkamar, S., Rajabi, A. A., Yazarloo, B.H. and Hassanabadi, H. (2013). An approximate solution of the DKP equation under the Hulthén vector potential. *Chinese Physics C*, 37(2), 023101.

Effect of Copper Oxide Nanoparticles on Prostate Cancer PC3 Cells

Mehran Aksel¹, Dursun Karaağaç^{2*}, Tolga Kaya³, Fatih Ağırakar⁴,
Muhammed Buğra Kaya⁴, Pınar Kızılcık⁴, Alperen Kuru⁴

¹Adnan Menderes University, Department of Biophysic, Faculty of Medicine, Aydın, Türkiye

²Bursa Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Physics, Bursa, Türkiye

³Ak-taş Dış Tic. A.Ş, İstanbul, Türkiye,

⁴Ulubatlı Hasan Anatolian High School, Bursa, Türkiye

mehran.aksel@adu.edu.tr^{ID}, *ddkaraagac@hotmail.com^{ID}, r.tolgakaya@gmail.com^{ID},
fatih.agirakar@metu.edu.tr^{ID}, muhammedbugrakaya@gmail.com^{ID}, pkzlk898@gmail.com^{ID},
a.kuru1603@gmail.com^{ID}

Received date:31.05.2023, Accepted date:28.06.2023

Abstract

Copper oxide (CuO NPs) nanoparticles were synthesized by green synthesis and characterized by UV-Vis spectroscopy, FT-IR spectroscopy, SEM and EDX analysis. The shape of the CuO nanoparticles obtained is approximately spherical and their particle sizes range from 40 to 85 nm. According to the experimental results, two peaks at 305 and 318 nm in the 270-400 nm range in the UV-Vis absorption spectrum and one peak at 536 cm⁻¹ in the FT-IR spectrum confirm the presence of copper oxide nanoparticles. In addition, the presence of biomolecules in aesculus hippocastanum(horse chestnut) extract on the surface of the copper oxide nanoparticles synthesized by green synthesis was determined by the peaks seen in the range of 3300 cm⁻¹ - 1000 cm⁻¹ in the FTIR spectrum. The images, shape and size of the copper oxide nanoparticles were determined by SEM, and the weight percent of the elements were determined by EDX. PC3 prostate cell lines were used in the study. After measuring the cytotoxic effect of the agents used in the study on prostate cancer cells, the apoptotic effect of this effect was determined by Hoechst/propidium iodide (HOPI) staining. Graphpad prism program was used to compare all parameters between groups, and "one-way analysis of variance" (one-way ANOVA) method and dunnet's test were applied to test whether there was any difference between at least two groups. It has been determined that the drug obtained from copper oxide nanoparticles has a cytotoxic effect on PC3 prostate cancer cells and this effect occurs through the apoptosis pathway.

Keywords: Green synthesis, copper oxide nanoparticle, prostate cancer, PC3 prostate cell

Bakır Oksit Nanopartiküllerinin Prostat Kanseri PC3 Hücreleri Üzerindeki Etkisi

Öz

Bakır oksit(CuO NP'ler) nanoparçacıkları, yeşil sentez yolu ile sentezlenmiştir ve UV-Vis spektroskopisi, FT-IR spektroskopisi, SEM ve EDX analizi ile karakterize edilmiştir. Elde edilen CuO nanoparçacıklarının şekli yaklaşık olarak küreseldir ve parçacık boyutları 40 ile 85 nm arasında değişmektedir. Deneysel sonuçlara göre, UV-Vis absorpsiyon spektrumunda 270-400 nm aralığında 305 ve 318 nm'de görülen iki pik ve FT-IR spektrumunda 536 cm⁻¹'de bir pik, bakır oksit nanopartiküllerin varlığını doğrulamaktadır. Ayrıca, yeşil sentez yolu ile sentezlenen bakır oksit nanoparçacıklarının yüzeyindeki aesculus hippocastanum(at kestanesi) ekstraktındaki biyomoleküllerin varlığı FTIR spektrumunda 3300 cm⁻¹ - 1000 cm⁻¹ aralığında görülen pikler ile belirlenmiştir. Bakır oksit nanoparçacıklarının görüntüleri, şekli ve boyutu SEM ile, elementlerinin yüzde ağırlık oranları ise EDX ile tespit edilmiştir. Çalışmada PC3 prostat hücre hatları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ajanların prostat kanseri hücreleri üzerindeki sitotoksik etkisi ölçüldükten sonra bu etkinin apoptotik etkisi hoechst/propidium iodide(HOPI) boyaması ile belirlenmiştir. Gruplar arasında tüm parametrelerin karşılaştırılmasında graphpad prism programı kullanılmıştır ve en az iki grup arasında herhangi bir farklılığın olup olmadığını test etmek için "tek yönlü varyans analizi" (one-way ANOVA) yöntemi ve dunnet's testi uygulanmıştır. Bakır oksit nanopartiküllerinden elde edilen ilacın PC3 prostat kanseri hücreleri üzerinde sitotoksik etkiye sahip olduğu ve bu etkinin apoptoz yolu ile gerçekleştiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeşil sentez, bakır oksit nanoparçacık, prostat kanseri, PC3 prostat hücresi

INTRODUCTION

Nanotechnology examines the properties and applications of structures in nanoscale. The structures with sizes between 1 nm and 100 nm are generally described as nanostructures (Willems, 2005). The nanostructures are used in various fields such as disease diagnosis, disease control, and microelectronics (Iravani, 2011; Thakkar et al., 2010). Metal nanoparticles, which are among the nanostructures, can be produced by various methods. These methods are physical, chemical and biological methods (Iravani, 2011; Mittal et al., 2013). Physical and chemical methods used in nanoparticle synthesis are disadvantageous due to their high cost, toxic effects and high energy needs (Danhalilu et al., 2019). Recently, environmentally biological methods such as microorganism, enzyme and plant extract are recommended as an alternative to chemical and physical methods to synthesize nanoparticles. In biological methods, fungi, algae, bacteria and plants are used to synthesize of the nanoparticles (Iravani, 2011; Erdoğan et al., 2022; Thakkar et al., 2010). The use of plant extract for the synthesis of nanoparticles is more advantageous than other biological methods. It can also be scaled for large-scale syntheses and produced quickly (Kharissova et al., 2013). Nanoparticles synthesized using plant extract are defined as "green synthesis". In green synthesis, plant extracts obtained from the leaves, roots, fruits, shells and seeds of plants are used (Iravani, 2011; Omer et al., 2021; Kharissova et al., 2013). The factors such as the structure of the plant extract, metal concentration, pH, temperature can affect the production and other properties of metal nanoparticles (Danhalilu et al., 2019). The reason for using plants in the synthesis of nanoparticles is the presence of reducing and stabilizing molecular structures such as amino acids, proteins, polyphenols, aldehydes and ketones in plant extracts (Mittal et al., 2013). The copper oxide, which is among the metal nanoparticles, is a p-type semiconductor with 1.2 eV band gap (Nethravathi et al., 2015). In particular, CuO nanoparticles have been characterized due to their antimicrobial effects, and their antimicrobial effects have been investigated (Das et al., 2013; Nethravathi et al., 2015; Sivaraj et al., 2014). Furthermore, it is very sensitive to prokaryotes and eukaryotes compared to

other metal nanoparticles (Tri et al., 2019). The copper oxide nanostructures have a wide range of applications including optical and electrical devices (Aruna et al., 2015), sensors (Wang et al., 2016), anode material for lithium-ion batteries (Wang et al., 2011), catalysis (Zaman et al., 2012), nanocomposite films (Shankar et al., 2017), solar cells (Sharma et al., 2015) and antibacterial materials (Nethravathi et al., 2015).

Copper oxide nanoparticles have gained importance due to their versatile use in industry and medicine. These nanoparticles have been shown to have an inhibitory effect against many bacteria and microorganisms (Das et al., 2013). Also, the CuO nanoparticles can act as anticancer agents, as they reduce the development of cancer cells. The current chemotherapy drugs used in the treatment of cancers have serious side effects and are disadvantageous as they significantly affect the quality of life of patients (Gnanavel et al., 2017). For this reason, it is necessary to search new ways of treatment and to develop alternative therapies in the treatment of cancers. One of the alternative ways at this stage is to use nanoparticles in this field and try to get results. For this purpose, the effects of copper oxide nanoparticles synthesized by green synthesis on cancer cells were studied. In the literature, it has been determined that the copper oxide nanoparticles synthesized by this method affect and destroy cancer cells such as human breast cancer cell (MCF-7) (Jeronsia et al., 2016; Rehana et al., 2017; Sivaraj et al., 2014), human lung cancer cell (A549) (Kalaiarasi et al., 2018; Rehana et al., 2017; Sankar et al., 2014), human colon cancer cell (HCT-116) (Gnanavel et al., 2017), cervical (HeLa) (Nagajyothi et al., 2017; Rehana et al., 2017), epithelioma (Hep-2) (Rehana et al., 2017), normal human dermal fibroblast (NHDF) cell (Rehana et al., 2017), epithelioma (Hep-2) (Rehana et al., 2017), MDA-MB-231 human breast cancer lines (Yugandhar et al., 2017), HL-60 cell line and PC3 (prostate cancer) (Naz et al., 2020).

In this study, we synthesized copper oxide nanoparticles for the first time using the extract of aesculus hippocastanum (horse chestnut) leaves and determined that these nanoparticles have a cytotoxic effect on PC3 prostate cancer cells. We characterized the structure and properties of copper

oxide nanoparticles synthesized by UV-Vis (Ultraviolet and visible region spectroscopy), FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy), EDX (Energy diffusion X-ray diffraction), SEM (Scanning electron microscopy). The cytotoxic effect of copper oxide nanoparticles on prostate cancer cells was investigated by MTT test. Apoptosis measurement was determined by HOPI staining.

MATERIALS AND METHODS

Materials

Aesculus hippocastanum (horse chestnut) leaves were collected from the garden of Ulubatlı Hasan Anatolian High Schools, Bursa, Turkey. Copper(II) sulfate pentahydrate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 99.5%) was purchased from Sigma-Aldrich.

The preparation of *Aesculus Hippocastanum* (Horse Hhestnut) Leaf Extract

5 g of leaves collected from the *aesculus hippocastanum* tree in the garden of Ulubatlı Hasan Andolu High School were firstly washed with deionized water and left to dry for 24 hours. To get a better extract, we cut the leaves into small pieces and put them in the erlenmeyer flask with 165 g of deionized water. We then extracted the leaves by heating this erlenmeyer at 80 °C for 20 minutes. Finally, the leaf and extract mixture in the erlenmeyer was filtered with the help of filter paper and the extract was obtained.

The synthesis of Copper Oxide Nanoparticles

20 mL of copper(II) sulfate pentahydrate (100 mM) solution was added to a 200 mL beaker. While this solution was also mixing in the magnetic stirrer, 20 mL of liquid *aesculus hippocastanum* extract was added dropwise and stirred at room temperature for 20 minutes. The resulting chemical solution was centrifuged at 10000 rpm and then the pellet was washed with distilled water and ethanol to remove organic residue. Nanoparticles obtained in powder form were kept at room temperature for further study.

Characterization of Copper Oxide Nanoparticles

The absorption spectrum of copper oxide nanoparticles and *aesculus hippocastanum* extract was recorded at room temperature in the range of 190-1100 nm by Ultraviolet-visible(UV-Vis)

spectrophotometer(SCINCIO - NEOSYS200). The presence of functional groups of plant biomolecules on copper oxide nanoparticles was characterized by fourier transform infrared(FT-IR) spectroscopy (Nicolet - iS50) in the range of 400-4000 cm^{-1} . The properties and structure of the surface of copper oxide nanoparticles were determined by Scanning Electron Microscopy(Zeiss / Gemini 300-SEM). The elemental compositions of the obtained copper oxide nanoparticles were analyzed by EDX (Zeiss / Gemini 300).

Cell Culture and MTT Assay

In this study, the toxic effect of copper oxide nanoparticles on prostate cancer cells was investigated. Androgen-independent PC3 prostate cell lines were used in the study. After the cells were removed from nitrogen, they were dissolved in a water bath. Then, medium containing 10% FBS (Fetal bovine serum), 1% L-glutamine and penicillin-streptomycin was added and centrifuged at 800 rpm for 5 minutes. After centrifugation, the supernatant was discarded and the growth and proliferation of cells was ensured in 75 flasks by adding fresh medium. After the cells reached 80-90% occupancy, they were removed with trypsin-EDTA and transferred to 15 falcon tubes. It was centrifuged at 800 rpm for 5 minutes and then the supernatant was discarded. After the addition of fresh medium, the cells were counted with a thoma slide and 105 cells per ml were planted in 48 well plates and kept in an incubator with 5% CO_2 at 37 °C for 24 hours. After 24 hours, copper oxide nanoparticles at different concentrations (5, 10, 20, 40 μM) were added to the cells and left to stand in the same conditions in the incubator for 24 hours. Then, 40 μl of (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide dye was added to each well and left in the incubator for 4 hours. Then 100 μl of DMSO was added to each well and the spectrophotometer at 560-620 nm' viability was measured.

Determination of Apoptosis

After measuring the cytotoxic effect of the agents used in the project on prostate cancer cells, the effect of this effect on the apoptotic pathway was determined by Hoechst/propidium iodide(HOPI) staining. In this context, cells were seeded into 24-well plates and incubated for 24 hours. After

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1304265

incubation, 10 μM concentration of drug was added to the cells and allowed to incubate again for 24 hours. After 24 hours, cells were lifted with trypsin-EDTA and transferred to Eppendorf tubes. Then, after centrifugation at 800 rpm for 5 minutes, the supernatant was discarded and HOPI dye mixed with 50 μl of fresh medium was added to the tube at a ratio of 1:1. The cells were then incubated for 30-60 minutes and then examined under a fluorescence microscope.

Statistical Analysis

In the comparison of all parameters between the groups, using the Graphpad Prism program, "one-way analysis of variance" (one-way ANOVA) method and Dunnet's test were applied to test whether there was any difference between at least two groups, and all data were compared with the control group. $P < 0.05$ was considered statistically significant in the evaluations. All numerical values are expressed as arithmetic mean \pm standard error.

RESULTS AND DISCUSSION

UV-Vis Spectra Analysis

The presence of CuO nanoparticles in the liquid solution was investigated by taking UV-Vis absorption spectra in the wavelength range of 200-1000 nm. The UV-Vis spectrum the solution containing CuO nanoparticles and the extract of aesculus hippocastanum leaf is given in Figure 1. The broad maximum peak around 365 nm in UV-Vis spectrum originates from biomolecules belonging to extract of Aesculus hippocastanum leaf (Figure 1). The shift in the peak towards high frequency in this spectrum occurred with the effect of CuO nanoparticles. This shift supports the formation of the copper oxide nanoparticles. It also explains CuO nanoparticle formation the color change (light green) observed in the mixture of extract (brown) and copper sulfate (blue). The peaks appearing at 305 and 318 nm in the UV-Vis spectra are characteristic absorption peaks of copper oxide nanoparticles. The maximum two peaks seen at 305 and 318 nm indicate that synthesized copper oxide nanoparticles are formed. The UV-Vis absorption peaks of CuO NPs overlap with previous studies. In previous studies, similar peak values such as 285 nm (Sankar et al., 2014), 275 and 372 nm (Nethravathi et al., 2015), 380 nm (Das et al., 2013), 220 and 235

nm (Rehana et al., 2017), 291 and 355 nm (Reddy, 2017) were found.

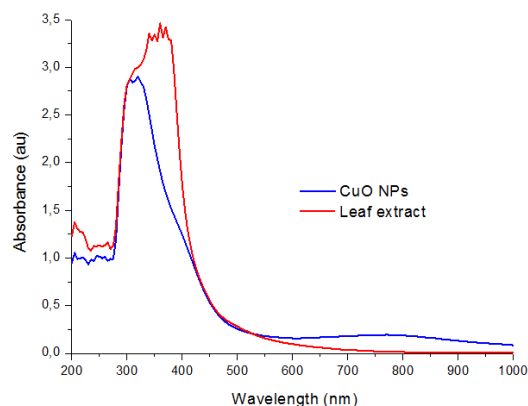


Figure 1. UV-Vis spectrum of synthesized colloidal CuO NPs and leaf extract of aesculus hippocastanum

FT-IR spectra analysis

FTIR spectroscopy measurements were performed to identify the biomolecules of the extract of aesculus hippocastanum leaf attached to the surface of the copper oxide nanoparticles. In addition, FT-IR spectroscopy is used to determine the Cu-O stretching vibrations of the CuO nanoparticles. Biomolecules ensure the stability of copper oxide nanoparticles and also change the properties of the surface. In this case, the extract of the leaf produces a significant effect on the CuO nanoparticles and causes it to acquire different properties. As seen in Figure 2, the peaks at 3284, 2926, 2849, 2638, 2287, 1710, 1591, 1436, 1351, 1267, 1056 and 536 cm^{-1} have supported the presence of biomolecules that bind to the surface of the CuO nanoparticle. It can be thought that these peaks are caused by functional groups in the extract of the leaf such as $-\text{O}-\text{H}$, $-\text{C}-\text{H}$, $-\text{C}=\text{O}$, $-\text{C}=\text{C}$, $-\text{C}-\text{N}$. The broad absorption band, which gives a peak at approximately 3284 cm^{-1} between 3600 and 3000 cm^{-1} in the FT-IR spectrum of the copper oxide nanoparticle, belongs to the $-\text{O}-\text{H}$ group, which has a hydrogen bond. This absorption band can be caused by water molecules, alcohol or phenol. The absorption band seen in the range of 3000-2840 cm^{-1} is attributed to the aliphatic $-\text{C}-\text{H}$ groups. The peak observed at 2287 cm^{-1} belongs to the $-\text{C}\equiv\text{N}$ stretching in the triple bond region. It is attributed to carbonyl group ($-\text{C}=\text{O}$ stretching) the peak appeared at 1710 cm^{-1} , but it is possible that this peak belongs

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1304265

to carboxylic acid, an amide or a ketone. The multiple bands around 1591 cm^{-1} are due to stretching vibration of the $\text{C}=\text{C}$ group or bending vibration of the $\text{O}-\text{H}$ group. The bands in the range of $1460\text{--}1360\text{ cm}^{-1}$ correspond to $\text{C}-\text{H}$ bending peaks. The absorption peaks observed at 1351 and 1267 cm^{-1} can be attributed to $\text{C}-\text{N}$ and $\text{C}-\text{O}$ stretching vibrations. The peak at 1056 cm^{-1} can be due to aliphatic fluoro ($\text{C}-\text{F}$ stretching) or $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ stretching vibration. The results of FT-IR

analysis show that the surface of copper oxide nanoparticles is covered by biomolecules found in the leaf extract of the aesculus hippocastanum and remains stable for a long time. In the FT-IR spectra, the peaks found between 400 and 600 cm^{-1} are caused by $\text{Cu}-\text{O}$ stretching vibrations (Reddy, 2017; Rehana et al., 2017). The $\text{Cu}-\text{O}$ stretching peak at 536 cm^{-1} belonging to the synthesized copper oxide nanoparticles appeared as multiple absorption band. This peak confirmed the presence of CuO in the CuO nanoparticle. Similar peak values were also found in previous studies (Jeronsia et al., 2016; Padil and Černík, 2013; Rehana et al., 2017; Sivaraj et al., 2014).

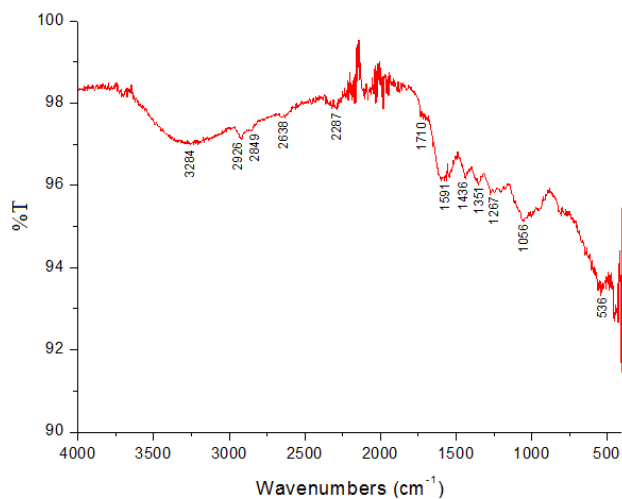


Figure 2. FTIR spectrum of CuO NPs synthesized using extract of aesculus hippocastanum leaf

SEM analysis

Structural and morphological properties of copper oxide nanoparticles were determined by SEM analysis. SEM images of copper oxide nanoparticles obtained at different magnification rates are given in

Figure 3. The copper oxide nanoparticles from the SEM images given in Figure 3 are quite small in size, gray, bright, and approximately spherical regions. The sizes of these nanoparticles range from 40 nm to 85 nm .

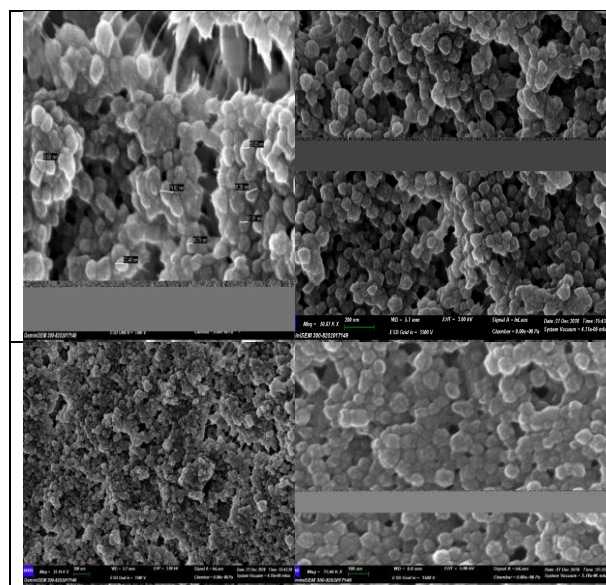


Figure 3. SEM images of CuO nanoparticles at different magnification rates

EDX analysis

EDX analysis was performed to determine the presence of copper oxide nanoparticles. The EDX spectrum is given in Figure 4. As seen in Figure 4, there are other elements besides the presence of copper in the spectrum. These elements that appear in EDX analysis are C, O, S, Au, Pd and Si (Table 1). It is estimated that the source of these elements is due to the biomolecules of the extract of the aesculus hippocastanum leaf on the surface of the copper nanoparticles. In addition, the plastic (centrifuge tube surface) substrate used for the EDX data is thought to cause an increase in the amount of carbon and oxygen elements. The elements found in the EDX analysis are given in Table 1.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1304265

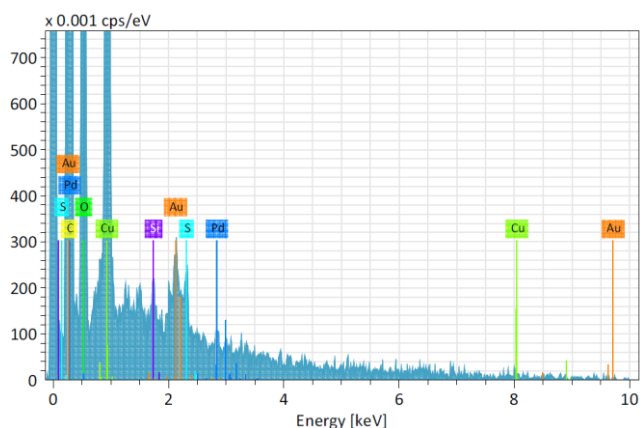


Figure 4. EDX analysis of CuO nanoparticles obtained through green synthesis. Additionally, the plastic substrate used for obtaining EDX data has increased the amount of carbon and oxygen elements

Table 1. Percent weight ratios of the elements obtained from CuO nanoparticles as a result of EDX analysis. In addition, the plastic (centrifuge tube surface) substrate used for the EDX data is thought to cause an increase in the amount of carbon and oxygen elements

Element	Weight (%)
Carbon (C)	48.77
Oxygen (O)	23.33
Copper (Cu)	19.10
Gold (Au)	5.41
Sulfur (S)	1.61
Palladium (Pd)	1.02
Silicon (Si)	0.77

Investigation of the Activity of Copper Oxide Nanoparticles in Prostate Cancer PC3 Cells Cytotoxicity Measurement

The cytotoxic effect of copper oxide nanoparticles on prostate cancer cells was investigated by the MTT test and the results are shown in Figure 5. Accordingly, after 10 μM concentration, the cytotoxic effect of the drug was found to be around 50%. However, it was observed that the toxic effect of the drug increased with increasing drug concentration. The cytotoxic activities of CuO NPs have been determined in previous studies (Jeronsia et al., 2016; Rehana et al., 2017; Sivaraj et al., 2014).

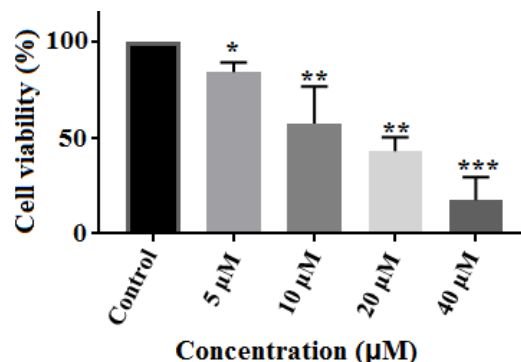


Figure 5. Cytotoxic effect of the drug obtained from copper oxide nanoparticles applied at different concentrations to prostate cancer cell line PC3 cells (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$).

Apoptosis Measurements

Apoptosis measurement was determined by HOPI staining. After the MTT test, a concentration of 10 μM was determined to be appropriate and apoptosis measurements were made at this concentration. Figures and graphics obtained as a result of HOPI staining are shown in Figure 6. Accordingly, it was determined that the number of apoptotic cells in the drug administered group increased significantly when compared to the control group.

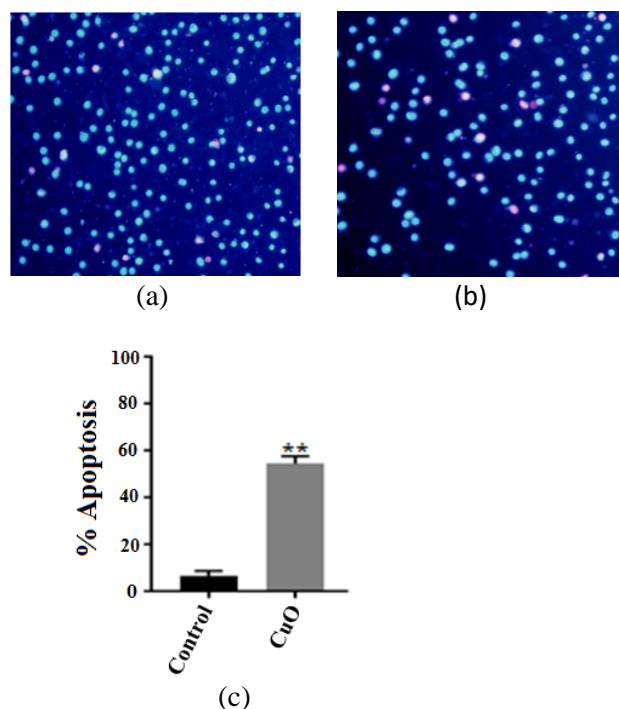


Figure 6. a) HOPI images of control and b) drug groups and c) apoptosis rates of these groups (** $p < 0.01$).

CONCLUSIONS

In this study, the structure, size, shape and morphological properties of copper oxide nanoparticles obtained through green synthesis were characterized by UV-Vis, FT-IR, SEM and EDX techniques. It supported the presence of copper oxide nanoparticles two peaks that appeared at 305 and 318 nm in the UV-Vis spectrum. FT-IR spectroscopy confirmed the presence of biomolecules on the surface of copper oxide nanoparticles and Cu-O bond. The CuO NPs synthesized from SEM images were determined to have a spherical shape and size in the range of 40-80 nm. Elements of biomolecules (C, O, Au, S, Pd and Si) of leaf extract found on the surface of CuO nanoparticles and copper element have been identified with EDX analysis.

Considering the data obtained in this study, in which the toxic effect of copper oxide nanoparticles and the possible mechanism of apoptosis in PC3 cells, which are the prostate cancer cell line, were examined, it was determined that the drug obtained from the aforementioned copper oxide nanoparticles had a cytotoxic effect on prostate cancer cells and this effect was realized through the apoptosis pathway.

CONFLICT OF INTEREST

The Authors report no conflict of interest relevant to this article.

RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The authors declare that this study complies with research and publication ethics.

REFERENCES

- Aruna, P. W., Li, S., Benjamin, C. C. and Nidal, A.-Z. (2015). Electrical and optical properties of hybrid polymer solar cells incorporating Au and CuO nanoparticles. *AIMS Materials Science*, 3(1), 35-50.
- Danhalilu, R., Kankara, A. I. and Batagarawa, S. M. (2019). Green Synthesis of Metallic Nanoparticles Using Leaf Extract of Calotropis Species and their Applications: A Review. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 32(2), 1-10.
- Das, D., Nath, B. C., Phukon, P. and Dolui, S. K. (2013). Synthesis and evaluation of antioxidant and antibacterial behavior of CuO nanoparticles. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 101, 430-433.
- Erdoğan, O., Pasa, S. and Cevik, O. (2021). Green Synthesis and Characterization of Anticancer Effected Silver Nanoparticles with Silverberry (*Elaeagnus angustifolia*) Fruit Aqueous Extract. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(3), 391-400.
- Erdoğan, S.L., Tekgül, Y. and Koç, G. Ç. (2022). Farklı Meyve Çekirdekleri Yağlarının Keklerin Kalite Karakteristikleri Üzerine Etkisi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 8(2), 342-350.
- Gnanavel, V., Palanichamy, V. and Roopan, S. M. (2017). Biosynthesis and characterization of copper oxide nanoparticles and its anticancer activity on human colon cancer cell lines (HCT-116). *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 171, 133-138.
- Iravani, S. (2011). Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry*, 13(10), 2638-2650.
- Jeronsia, J. E., Raj, D. V., Joseph, L. A., Rubini, K. and Das, S. J. (2016). In vitro antibacterial and anticancer activity of copper oxide nanostructures in human breast cancer Michigan Cancer Foundation-7 cells. *Journal of Medical Sciences*, 36(4), 145.
- Kalaifarasi, A., Sankar, R., Anusha, C., Saravanan, K., Aarthy, K., Karthic, S., . . . Ravikumar, V. (2018). Copper oxide nanoparticles induce anticancer activity in A549 lung cancer cells by inhibition of histone deacetylase. *Biotechnology letters*, 40(2), 249-256.
- Kharissova, O. V., Dias, H. R., Kharisov, B. I., Pérez, B. O. and Pérez, V. M. J. (2013). The greener synthesis of nanoparticles. *Trends in biotechnology*, 31(4), 240-248.
- Mittal, A. K., Chisti, Y. and Banerjee, U. C. (2013). Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnology advances*, 31(2), 346-356.
- Nagajyothi, P., Muthuraman, P., Sreekanth, T., Kim, D. H. and Shim, J. (2017). Green synthesis: in-vitro anticancer activity of copper oxide nanoparticles against human cervical carcinoma cells. *Arabian journal of chemistry*, 10(2), 215-225.
- Naz, S., Tabassum, S., Freitas Fernandes, N., Mujahid, M., Zia, M. and Carcache de Blanco, E. J. (2020). Anticancer and antibacterial potential of *Rhus punjabensis* and CuO nanoparticles. *Natural product research*, 34(5), 720-725.
- Nethravathi, P., Kumar, M. P., Suresh, D., Lingaraju, K., Rajanaika, H., Nagabhushana, H. and Sharma, S. (2015). *Tinospora cordifolia* mediated facile green synthesis of cupric oxide nanoparticles and their photocatalytic, antioxidant and antibacterial

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1304265

- properties. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 33, 81-88.
- Padil, V. V. T. and Černík, M. (2013). Green synthesis of copper oxide nanoparticles using gum karaya as a biotemplate and their antibacterial application. *International journal of nanomedicine*, 8, 889-898.
- Reddy, K. R. (2017). Green synthesis, morphological and optical studies of CuO nanoparticles. *Journal of Molecular Structure*, 1150, 553-557.
- Rehana, D., Mahendiran, D., Kumar, R. S. and Rahiman, A. K. (2017). Evaluation of antioxidant and anticancer activity of copper oxide nanoparticles synthesized using medicinally important plant extracts. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 89, 1067-1077.
- Sankar, R., Maheswari, R., Karthik, S., Shivashangari, K. S. and Ravikumar, V. (2014). Anticancer activity of *Ficus religiosa* engineered copper oxide nanoparticles. *Materials Science and Engineering: C*, 44, 234-239.
- Shankar, S., Wang, L.-F. and Rhim, J.-W. (2017). Preparation and properties of carbohydrate-based composite films incorporated with CuO nanoparticles. *Carbohydrate polymers*, 169, 264-271.
- Sharma, J. K., Akhtar, M. S., Ameen, S., Srivastava, P. and Singh, G. (2015). Green synthesis of CuO nanoparticles with leaf extract of *Calotropis gigantea* and its dye-sensitized solar cells applications. *Journal of Alloys and Compounds*, 632, 321-325.
- Sivaraj, R., Rahman, P. K., Rajiv, P., Narendhran, S. and Venckatesh, R. (2014). Biosynthesis and characterization of *Acalypha indica* mediated copper oxide nanoparticles and evaluation of its antimicrobial and anticancer activity. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 129, 255-258.
- Thakkar, K. N., Mhatre, S. S. and Parikh, R. Y. (2010). Biological synthesis of metallic nanoparticles. *Nanomedicine: nanotechnology, biology and medicine*, 6(2), 257-262.
- Tri, P. N., Rtimi, S. and Ouellet-Plamondon, C. M. (2019). *Nanomaterials-Based Coatings: Fundamentals and Applications*. Elsevier.
- Wang, F., Li, H., Yuan, Z., Sun, Y., Chang, F., Deng, H., Li, H. (2016). High sensitive gas sensor based on CuO nanoparticles synthesized by sol-gel method. *RSC Advances*, Cambridge, 79343.
- Wang, F., Tao, W., Zhao, M., Xu, M., Yang, S., Sun, Z., Song, X. (2011). Controlled synthesis of uniform ultrafine CuO nanowires as anode material for lithium-ion batteries. *Journal of Alloys and Compounds*, 509(41), 9798-9803.
- Willems, v. d. W. (2005). Roadmap report on nanoparticles. W&W Espana sl, Barcelona, Spain, 157.
- Yugandhar, P., Vasavi, T., Devi, P. U. M. and Savithramma, N. (2017). Bioinspired green synthesis of copper oxide nanoparticles from *Syzygium alternifolium* (Wt.) Walp: characterization and evaluation of its synergistic antimicrobial and anticancer activity. *Applied Nanoscience*, 7(7), 417-427.
- Zaman, S., Zainelabdin, A., Amin, G., Nur, O. and Willander, M. (2012). Efficient catalytic effect of CuO nanostructures on the degradation of organic dyes. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 73(11), 1320-1325.

Islatma Açısı Arttırılarak Emaye Kaplı Parçaların Gıda Temasında Yapışmazlık Özelliğinin Geliştirilmesi

Tuğçe Nazlı Kaya^{1,2}, Aysun Ayday^{1*}

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

²Algortrio Kimya San. ve Tic. A.Ş., Sakarya, Türkiye

*aayday@sakarya.edu.tr^{ORCID}, tugcenazli95@gmail.com^{ORCID}

Makale gönderme tarihi:09.03.2023, Makale kabul tarihi:25.09.2023

Öz

Emaye; yüzeyde camsı yapı oluşturan inorganik bir kaplama malzemesidir. Oluşan kaplamanın kimyasala dayanımı yüksektir. Emaye kaplamalar günümüzde süs eşyaları, mutfak eşyaları gibi birçok alanda kullanılırlar. Fakat emayelerin yiyecekler ile temas eden yüzeylerinde yapışmazlık özelliği iyi değildir. Bu çalışma yapışmazlık özelliğinin geliştirilmesi için yapılmıştır. Çalışmada ıslatma açısını en fazla etkileyecek 4 süreç girdisi frit oranları, korund miktarı, pişirme sıcaklığı, pişirme süresi olarak sebep sonuç matrisi ile belirlenmiştir. Süreç girdileri için 3 farklı seviye belirlenmiştir. 4 süreç girdisi ve 3 seviye için gerekli denemeler Taguchi yöntemi ile tespit edilmiş ve uygulanmıştır. Islatma açısını arttıracak 3 frit formülüne edilmiştir. Bu fritlerin oranları kendi arasında değiştirilerek farklı miktarlarda korund ve sabit değirmen katkıları ile belirlenen süre boyunca alumina değirmenlerde öğütülüp uygulama yapıp belirlenen sıcaklık ve sürelerde pişirilerek sitrik asit, kolay temizlenebilirlik (ETC) testi, renk, parlaklık değerleri, kaplama kalınlıkları, ıslatma açıları ölçülmüştür. Yapılan analizleri kıyaslamak adına ETC emaye kaplı plakaya ölçüm yapılmış ve ıslatma açısı değeri 33° ölçülmüştür ve çalışmalarda açı değerinin 75 °nin üzerine çıkarılması hedeflenmiştir. Islatma açısında en iyi sonucu 2, 5, 8 numaralı denemeler vermiştir. Aralarındaki en yüksek ıslatma açısı değeri 2 numaralı deneyde 78,1 ° ölçülmüştür. Fakat 5 numaralı deneyin kimyasala dayanımı yüksek ve bu değerlere göre frit kullanım oranlarının en etkili sonuç verdiği görülmüş ve B fritinin kullanım oranı arttığında ıslatma açısının arttığı sonucu çıkarılmıştır.

Anahtar kelimeler: Emaye, emaye kaplama, frit, ıslatma açısı, temizlenebilirlik

Improving the Non-Stick Feature of Enamel Coatings by Increasing the Wet Angle

Abstract

Enamel is an inorganic coating material that creates a glassy structure on the surface. The resulting coating has high chemical resistance. Today, enamel coatings are used in many areas, such as ornaments and kitchenware. However, the non-stick properties of enamels on surfaces that come into contact with food are not good. This study was carried out to improve the non-stick property. In the study, the four process inputs that will affect the wetting angle the most were determined by the cause-and-effect matrix as frit rates, corundum amount, cooking temperature, and cooking time. Three different levels have been determined for process inputs. The necessary trials for four process inputs and three levels were determined and applied by the Taguchi method. Three frits have been formulated to increase the wetting angle. The ratios of these frits were changed among themselves, and different amounts of corundum and fixed mill additives were ground in alumina mills for a specified period of time, applied, and cooked at the specified temperature and time, and citric acid, easy-to-clean (ETC) test, color, gloss values, coating thicknesses, and wetting angles were measured. In order to compare the analyses made, measurements were made on the ETC enamel-coated plate, and the wetting angle value was measured at 33°. It was aimed to increase the angle value above 75° in the studies. Trials 2, 5, and 8 gave the best results in terms of wetting. The highest wetting angle value among them was measured at 78.1° in experiment number 2. However, it was seen that the chemical resistance of experiment number 5 was high, and the frit usage rates according to these values gave the most effective results, and it was concluded that the wetting angle increased when the use rate of the B frit increased.

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1262742

Keywords: Enamel, enamel coating, frit, wetting angle, cleanability

GİRİŞ

Emaye, metal saclara ya da döküm parçalara kaplanarak kaplandığı malzemeye estetik özellik sağlayan, kimyasal dayanımını arttıran inorganik yapıdaki kaplama malzemeleridir (Holcomb, 1967; Evcime, 2007; Harry ve ark., 1966; Russo ve ark., 2021; Majumdar ve ark., 2021).

Kaplama işlemlerinde, kaplama kalitesini kaplama işlemi öncesi kaplanacak yüzeye uygulanan ön işlemler ile kaplama prosesi parametreleri olan çözeltisi, bileşen oranları, kaplama çözeltisi sıcaklığı, süre, akım değeri ve mesafe belirlemektedir (Ayyıldız ve ark., 2022). Bu sebeple, farklı özellikteki emayelerin içerikleri birbirlerinden farklı özellikler göstermektedir. Emayeler, aside karşı dayanıklı, kolay temizlenebilir, buhara karşı dayanıklı, yağ emme özelliğine sahip olabilirler. İstenen özelliği sağlamak için emayelerin içerisinde kullanılan fritlerin formülasyonu değiştirilir (Kunshan ve ark., 2022; Şahin, 2019).

Emayeler, üzerlerinde bakteri toplamadıklarından özellikle mutfak eşyalarında kullanılacak sağlıklı kaplama malzemeleridir. Mutfak eşyaları yiyecek ile temas ettiklerinden kullanılan emayelerde genellikle asit dayanımı, kolay temizlenebilirlik (Easy To Clean - ETC) özelliğine sahip olması beklenir. Son zamanlarda emayeli yüzeylerde yiyeceğin yüzeye yapışmaması artan talepler arasındadır (Şahin, 2019; Ay, 2023; Evele, 2000; Rossi ve ark., 2021).

Yüzeylerin yapışmazlığını sağlayabilmek için ıslatma açısının yüksek olması gerekir. Emaye kaplamalar camsı malzemeler olduğu camların ve Gıda ile temas eden diğer kaplama malzemesi olan PTFE'nin yüzey yapışmazlık özelliği incelenmiştir. Camların su ile yaptığı ıslatma açısı değer 37°'dir. PTFE malzemelerin yapışmazlık özellikleri oldukça iyidir ve bu kaplama malzemesinin araştırma sonucunda ıslatma açısının 110° olduğu bulunmuştur. Emaye kaplamanın yapışmazlık özelliğini arttırmak için PTFE kaplamanın ıslatma açısına yakınlaştırmak hedeflenmiştir (Ersoy ve ark., 2022; Zhao ve ark., 2021).

Bu çalışmada emayelerin yapışmazlık özelliğini arttırmak için çeşitli formülasyona sahip emayeler ile farklı pişirme şartlarında denemeler yapılmıştır. Yapışmazlığın artması için yüzey ile sıvının yaptığı

ıslatma açısının artması gerekmektedir. Emaye kaplamalarında ıslatma açısı değerleri ortalama olarak 35-50° arasındadır. Bu çalışmada bu değerlerin artırılması amaçlanmıştır.

Literatür araştırmalarına göre, emayenin iyileştirilmesi amaçlı yapılan çalışmalarda esas olarak üç farklı yaklaşım olarak şunlar belirtilebilir: frit bileşimi, hafif alaşımlarda olduğu gibi sert takviye elemanları kullanımı (potasyum feldispat, zirkonyum silikat, silisyum karbür, alümina, gibi), grafit gibi yağlayıcı takviyelerin ilavesi (Ayyıldız ve ark., 2021; Russo ve ark., 2022; Russi ve ark., 2014). Mekanik olarak emayelerde çizilme, aşınma gibi testlerle destelenmiştir. Yapışmazlık özelliğinin iyileştirilmesine yönelik yapılan çok fazla çalışma olmadığı tespit edilmiştir.

Çalışmada ıslatma açısını en fazla etkileyecek parametreler ve yapışmazlık özelliğini ne derece etkiledikleri belirlenip sebep sonuç matrisine göre puanlanmıştır. Puanlama sonucuna göre yapışmazlık özelliğini en çok etkileyen 4 süreç girdisi frit oranları, korund miktarı, pişirme sıcaklığı, pişirme süresi olarak belirlenmiştir. Sebep sonuç matrisinde düşük puan alan diğer değerler sabit tutulmuştur. Yapışmazlık özelliğini etkileyen 4 süreç girdisi için 3 farklı seviye belirlenmiştir gerekli denemeler Tagucchi yöntemi ile tespit edilmiş ve uygulanmıştır. ıslatma açısını arttıracak 3 yeni frit formülüne edilmiştir. Frit oranları laboratuvar ortamında denemeler yapılarak belirlenmiştir. Fritler farklı miktarlarda korund ve sabit değirmen katkıları ile daha önceki laboratuvar çalışmaları değerlendirilerek belirlenen süre boyunca alümina değirmenlerde öğütülüp uygulama yapılab belirlenen sıcaklık ve sürelerde pişirilerek sitrik asit, ETC testi, renk, parlaklık değerleri, kaplama kalınlıkları, ıslatma açıları ölçülmüştür.

Bu çalışmada emaye kaplı pişirme gereçlerinde ıslatma açısı arttırılarak yapışmazlık özelliğinin arttırılması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Çalışmada ilk olarak kullanılacak olan 3 fritin seger formülü belirlenmiştir. Belirlenen segere göre fritlerin oksidik kompozisyonları hesaplanmıştır, değerler Tablo 1'de gösterilmiştir. Fritlerin tartım

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.1262742

reçeteleri laboratuvar tipi pota fırınların kapasitelerine uygun olarak 1500 grama göre ayarlanmış ve gerekli hammaddeler ile tartımları hassas terazilerde yapılmıştır. Hazırlanan hammadde karışımları pota tipi fırında 1200 °C'de 1 saat süre ile ergitilmiştir. Soğuk suya dökülüp şoklanarak boncuk fritler elde edilmiştir.

Oksidik Bileşen	% içerik		
	A FRİTİ	B FRİTİ	C FRİTİ
Na ₂ O	8.0-9.5	16.0-17.2	7.1-10.0
K ₂ O	9.5-10.5	3.0-3.9	3.0-5.2
BaO	5.9-6.7	0.0-3.0	0.0
ZnO	0-0.2	1.5-3	0.0
B ₂ O ₃	0.0-1.0	3.1-5.2	15.2-17.5
Al ₂ O ₃	0.5-1.6	30.0-45.0	0.5-1.2
SiO ₂	14-15.3	0.0-2.0	50.2-56.3
TiO ₂	5.9-7.1	1.8-3.0	0.0-0.2
F	1.0-2.5	0-0.5	1.0-1.5
ZrO ₂	27.0-29.0	0.2	0.1-2.0
P ₂ O ₅	23.0-24.9	32.0-46.0	0.0
MnO	0.0-0.5	0.1-0.9	6.0-8.5
Sb ₂ O ₃	0.0-0.5	0.1-0.6	0.2-2.3
Termal Genleşme Katsayısı (COE) (.10-8 K-1)	352.9	452.9	226.0

Tablo 1. Kullanılan Fritlerin Oksidik Oran Aralığı ve Termal Genleşme Katsayıları

Tagucchi yöntemine göre karışım reçeteleri 100 grama göre belirlenmiş ve tartımları yapılmıştır. İçerisine % 40 oranında su katılıp alümina yaş değirmende 10 dk öğütülüp tane boyutu 150 mesh elekte 0.5-1 Bayer'e göre ayarlanmıştır ve yapılan tüm karışımların tane boyutu aynı aralıkta tutulmuştur. Yaş emayeler 40 mesh elekten

elenmiştir. Emayelerin yoğunluğu 1.65-1.67 g/cm³ arasındadır. Yaş sprej olarak uygulanmaya hazırdır.

Emayelerdeki yapışmazlık özelliğini etkileyebilecek özellikler olarak temizlenebilirlik, parlaklık, renk, yüzey, yapışma ve sitrik asit dayanımı belirlenmiştir. Bu özelliklerin etki dereceleri ve sonrasında bu özellikleri etkileyecek süreç girdileri tespit edilmiştir. Gerekli hesaplamalar sebep sonuç matrisi kullanılarak yapılmış, burada yüksek çıkan değerlere odaklanılmış ve ısıtma açısını etkileyen en önemli süreç girdileri, frit Oranı (A/B/C), korund miktarı, pişirme sıcaklığı, pişirme süresi olarak belirlenmiştir. Bu özellikler çalışmadaki değişken parametrelerdir. Çalışmada tüm denemelerde sabit tutulan parametreler ise değirmen katkıları, öğütme inceliği, uygulama kalınlığı ve uygulama şeklidir.

Belirlenen 4 süreç girdisi için 3er farklı değer belirlenmiştir. Emayeler hazırlanırken sabit değirmen katkı formülü kullanılmış, hazırlanan emayelerin bayer değeri 0,5 - 1,0 Bayer aralığı, uygulama şekli yaş sprej uygulama, uygulama kalınlığı ise 200-250 mikrometre (astar+ikinci kat) olarak belirlenmiştir.

Çalışmalarda kullanılacak korund miktarları, pişirme dereceleri ve pişirme süreleri daha önceki laboratuvar çalışmalarından yola çıkılarak belirlenmiştir ve değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Deney tasarımı için kullanılacak faktör ve seviyeleri

FAKTÖR	SEVİYE		
Sıcaklık (°C)	820	835	850
Frit Karışım (A/B/C)	40/40/20	50/30/20	30/50/20
Korund Oranı (%)	1	5	10
Pişme Süresi (dk)	3	4	5

Belirlenen dört süreç girdisi ile üçer farklı seviye için yapılması gereken karışım ve pişirme durumları Taguchi deney tasarım yöntemine göre belirlenmiş ve Tablo 3'te belirtilmiştir. Bu tabloya göre 9 farklı deneme yapılmıştır.

Tablo 3. Yapılacak Denemelerin Frit ve Korund Oranları ve Pişirme Şartları

DENEY NO	Sıcaklık (°C)	Frit Karışımı (A/B/C)	Korund Miktarı (%)	Pişirme Süresi (dk)
1	820	40/40/20	1	3
2	820	50/30/20	5	4
3	820	30/50/20	10	5
4	835	40/40/20	5	5
5	835	50/30/20	10	3
6	835	30/50/20	1	4
7	850	40/40/20	10	4
8	850	50/30/20	1	5
9	850	30/50/20	5	3

Çalışmada kullanılan sabit değirmen formülü Tablo 4’te yer almaktadır, bu değerler 9 denemede de sabittir.

Bileşen	% Ağırlıkça Oran
Pigment	4
Kil MT 510	7
Bentonit	0.1
Potasyum Karbonat	0.2
Boraks	0.2
Sodyum Nitrit	0.3
Rodophol	0.07
Bentone	0.1

Tablo 4. Sabit Değirmen Katkı Oranları

Taguchi yöntemine göre belirlenen 9 karışımın tartımı yapılmıştır. Karışımlar 300 gr’lık alümina değirmenlerde, değirmenin içerisine %40 su eklenerek 10 dk boyunca öğütülmüştür. Öğütülen karışımların tane boyutu 150 mesh elekten 0,5-1 Bayer’ e göre ayarlanmıştır ve yapılan tüm emaye karışımlarının tane boyutunun hepsi aynı aralıktadır. Tane boyutu ayarlanan yaş emayeler 40 mesh elekten elenmiştir. Emayelerin yoğunluğu 1,65-1,67 g/cm³ arasında tutulmuştur. Tane boyutu ve

yoğunluğu ayarlanan emayeler yaş sprey olarak uygulanmaya hazırdır.

Hazırlanan yaş emayeler ikinci kat emaye özelliğinde olduğu için astar kaplı plakaların üzerine uygulanmalıdır. Bu nedenle öncelikle altlık elektrostatik toz siyah emaye ile çift taraflı olarak kaplanmıştır, laboratuvar tipi Protherm marka kutu fırında 820°C’ de 4 dk pişirilmiştir. Uygulama kalınlığı 100–120 mikrometre aralığındadır.

Hazırlanan yaş emayeler, astar kaplı plakalara yaş tabanca ile tek yönlü olarak uygulanmıştır. Her karışım kendi için belirlenen Tablo 3’teki sıcaklık derecesi ve süresinde pişirilmiştir. Plakaların hepsine yüzey kontrolü, renk ölçümü, kalınlık ölçümü, parlaklık ölçümü, ıslatma açısı ölçümü yapılmış, sitrik asit testleri uygulanmıştır.

Renk Ölçüm Analizi

Emaye kaplı plakaların renk değerleri COLORAIO marka renk cihazı ile ölçülmüştür. Bu cihazda L değeri açıklık - koyuluğu, a değeri + tarafta kırmızılığı, - tarafta yeşilliği, b değeri + tarafta sarılığı, - tarafta maviliği göstermektedir. Koordinatın merkezi akromatiktir. Tablo 5’te yapılan denemelerin renk ölçüm değerlerine yer verilmiştir.

Parlaklık Ölçüm Analizi

Emaye kaplamaların parlaklık değeri 3nH glossmetre cihazı ile ölçülmüştür. Bu cihazda 3 açılı ölçüm yapılabilmektedir. 20°’deki değer mat plakalar için kullanılır, 85°’deki değerler ise genellikle parlak kaplamalarda kullanılır. Ama genellikle 60°’deki değerlere bakılır. Düşük değerler matlığı, yüksek değerler ise parlaklığı gösterir (ASTM - D523,2014). Bu çalışmada her üç değer de alınmıştır.

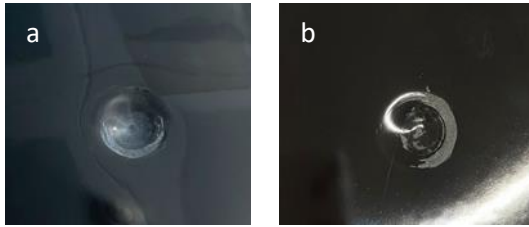
Sitrik Asit Analizi

Sitrik asit testi ISO 2722:1997 standardına göre yapılır. %10 derişime sahip soğuk sitrik asit çözeltisi hazırlanmış, plakaların üzerine damlatılarak 15 dk bekletilmiştir. Süre sonunda plakalar yıkanmış ve sitrik asit yüzeyden temizlenmiştir. Islak yüzey kurulanıp yüzeydeki aşınma kontrol edilmiştir. Eğer yüzeyde aşınma yok ise AA değerini alınır, asit izi gözle görünüyorsa A değerini, eğer beyazlama var ise B değerini alır.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.1262742

ETC Testi

Sitrik asit testi uygulanan plakaların asit yapılan bölgelerine lityum nitrat koyulmuştur. Plaka 320°C fırında 15 dk tutulduktan sonra fırından çıkarılıp lityum nitratın olduğu kısım yıkanıp kurulanmıştır. Lityum nitratın yapıldığı alana ketçap damlatılıp 320°C'lik fırında yarım saat bekletilmiştir. Süre dolduktan sonra plakalar fırından alınmış ve ketçap damlatılan yer yumuşak bir yüzey yardımıyla plakadan temizlenmiştir. Plaka yüzeyindeki aşınmaya göre ETC testinden geçer ya da kalır. ETC'den kalan emayelerin gıda ile teması uygun değildir. Şekil 1'de ETC testinin yüzeydeki aşınma durumu gösterilmiştir.



Şekil 1. (a) ETC yüzeyde aşınma yok (b) ETC yüzeyde aşınma var

Islatma Açısı Ölçümü

Hazırlanan deney plakaların ıslatma açıları ölçülmüştür. Emaye kaplı plakalar tablaya yerleştirilmiş ve üzerine su damlatılmıştır. Oluşan su damlasının görüntüsü alınmış ve su ile plaka yüzeyinin arasındaki temas açısı ölçülmüştür.

Yumurta Pişirme Testi

Kimyasal dayanımı kuvvetli, ıslatma açısı yüksek emaye üzerinde bu test uygulanmıştır. Emaye kaplı parça ocağa koyulur ve üzerine 1 adet yumurta kırılır, 3 dk boyunca yumurta yüksek ateşte pişirilir. Süre dolduktan sonra yumurta emaye üzerinden spatula yardımı ile kaldırılır ve yüzeyde kalan parça kontrol edilir. Eğer yüzeyde pişmiş yumurta parçası kalmadıysa emayenin yapışmazlık özelliğine sahip olduğu belirtilir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Renk Ölçüm Analizi

Hazırlanan 9 farklı emaye ile kaplı plakaların renk ölçüm sonuçlarına Tablo 5'te yer verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında kaplamaların L ve a değerlerinde belirgin farklılık yoktur. B değerlerinde ise farklılık görülmektedir. Ölçülen tüm renk

değerleri çalışma için uygundur.

Tablo 5. Yapılan 9 Denemenin Renk Ölçüm Sonuçları

Deney No	L	a	b
1	25.34	-0.31	-2.17
2	25.41	-0.21	-2.08
3	25.75	-0.21	-2.54
4	26.00	-0.17	-1.27
5	25.26	-0.24	-1.8
6	26.14	-0.37	-2.43
7	26.54	-0.56	-1.02
8	26.27	-0.24	0.48
9	25.59	-0.31	-2.13

Parlaklık Ölçüm Analizi

Bu çalışmada parlaklık ölçümleri 20, 60, 85°'de yapılmıştır ve Tablo 6'da değerler verilmiştir. Kaplama sektöründe ölçümler yaygın olarak 60°'de yapılır bu sebeple bu derecedeki sonuçlar değerlendirilmiştir. En mat kaplama 5, 2, 8 numaralı denemelerdir. Bu denemelerin değirmen formüllerine bakıldığında ortak özelliklerinin frit oranları olduğu görülmektedir. A fritinin içerisindeki ZrO₂ bileşeni kaplama malzemesinin opaklaşmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple bu fritin yüksek kullanıldığı formüllerde ölçüm sonuçları en mat sonuçları vermiştir. En mat olarak 5 numaralı deneyin olmasının sebebi ise içerisindeki korund miktarının en fazla olmasıdır. Korund miktarı arttıkça emayenin parlaklığı azalmaktadır. En parlak kaplama ise 6 numaralı deneyde elde edilmiştir. Bu denemenin değirmen formülü ve pişme koşullarına bakıldığında A fritinin oranının en düşük kullanıldığı karışımlardan biri olduğu görülmektedir. Ayrıca değirmen katkısı olarak kullanılan korund miktarının da az olması ve en yüksek sıcaklık ve sürede piştiğinden dolayı da parlaklığının yüksek muhtemeldir.

Tablo 6. Deneylerin Parlaklık Ölçüm Sonuçları

Deney No	20°	60°	85°
1	6.7	34.5	19.6
2	2.6	16	18.3
3	7.5	36.7	52.7
4	5.8	30.3	39.5
5	1.7	12.1	9.7
6	9.4	42.8	60.8
7	6.9	35.4	50.6
8	5.4	28.1	36.7
9	7.8	37.9	53.3

Sitrik Asit Analizi

9 farklı deneyin asit testleri yapılmış ve sonuçları Tablo 7’de yer almaktadır. Yapılan tüm kaplamaların sitrik aside dayanımının yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 7. Deneylerin Sitrik Asit Değerleri

Deney No	Sitrik Asit Değeri
1	AA
2	AA
3	AA
4	AA
5	AA
6	AA
7	AA
8	AA
9	AA

ETC Testi

Kaplamalara lityum nitrat ve ketçap testleri uygulanmış ve yüzeydeki aşınma sonuçları Tablo 8’de verilmiştir. Tabloya bakıldığında ETC özellikteki emayeler 1, 3, 5 denemeleridir. Bu emayelerin kimyasal dayanımları yüksektir. Bu çalışmada gıda ile temas eden ETC özellikte kimyasal dayanımı olan emaye kaplama hedeflendiği için diğer emaye kaplamaları bu çalışma için uygun değildir.

Deney sonuçlarına bakıldığında A frit miktarı arttığında ıslatma açısının yükseldiği görülmektedir. A fritinde bulunan ZrO_2 bileşeni emayenin kimyasala dayanımını arttırmış, P_2O_5 bileşeni ise emayenin ıslatma açısının artmasına sebep olmuştur.

Tablo 8. Deney plakaları üzerine yapılan ETC test sonuçları

Deney No	Lityum Nitrat Testi	Ketçap Testi
1	Yüzeyde aşınma yok	Yüzeyde aşınma yok
2	Yüzeyde aşınma var	Yüzeyde aşınma var
3	Yüzeyde aşınma yok	Yüzeyde aşınma yok
4	Yüzeyde aşınma yok	Yüzeyde aşınma var
5	Yüzeyde aşınma yok	Yüzeyde aşınma yok
6	Yüzeyde aşınma var	Yüzeyde aşınma yok
7	Yüzeyde aşınma var	Yüzeyde aşınma var
8	Yüzeyde aşınma yok	Yüzeyde aşınma var
9	Yüzeyde aşınma var	Yüzeyde aşınma var

Yapılan 9 farklı deneyin sonuçları incelendiğinde 2,5 ve 8 nolu deneylerde ıslatma açısının yüksek olduğu görülse de 2 nolu deneyde yapılan ETC testinde hem lityum nitrat hem de ketçap testi sonuçları olumsuz sonuçlanmıştır. Ayrıca 8 nolu deneyde lityum nitrat olumlu sonuçlansa da ketçap testi sonucu olumsuzdur. Bu sebeple bu iki deneme bu çalışma için uygun sonucu vermemiştir. 5 nolu deneyde bulunan sonuçların kimyasal dayanımının kuvvetli ve ıslatma açısının 75° ’nin üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Gıda ile temas eden emayeler olduğu için kimyasala dayanımları kuvvetli, yapışmazlığı arttırmak için de ıslatma açısının 70° ’nin üzerinde olma şartlarını 5 no’lu deney karşılamıştır.

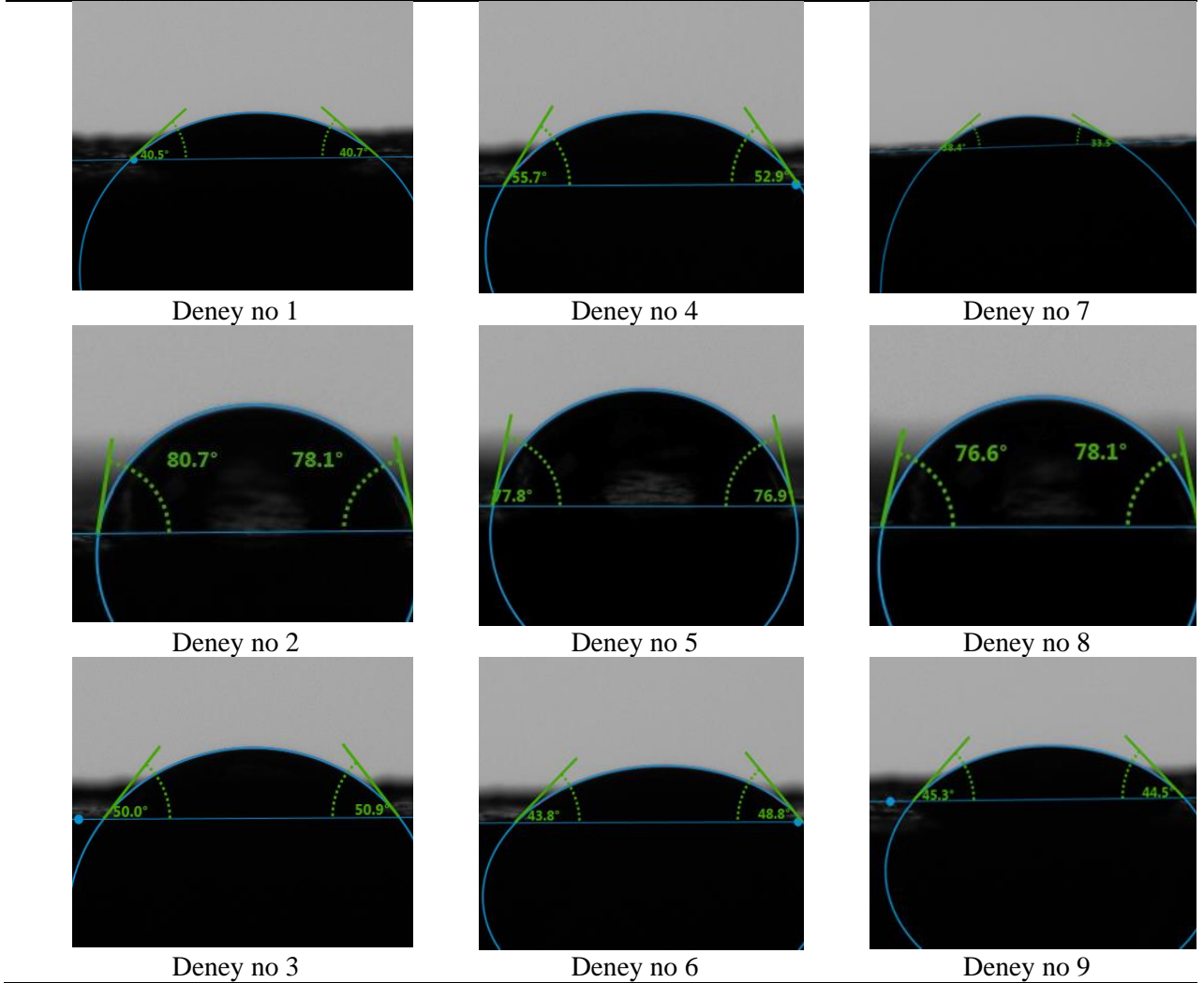
Islatma Açısı Ölçümü

Tüm kaplama plakalarının ıslatma açıları ölçülmüştür. 1 den 9’a kadar yapılan tüm deneylerin ıslatma açısı değerleri Şekil 2’de verilmiştir. ıslatma açısı en yüksek olan denemeler 2, 5, 8 numaralı denemelerdir. Bu emayelerde kullanılan frit oranları ıslatma açısını arttıran etki göstermektedir. Fritlerde P_2O_5 oranı %20’nin üzerinde olduğunda ıslatma

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1262742

açısı artmaktadır. Ayrıca ZrO_2 miktarı arttığında da emayenin kimyasal dayanımı arttığı için bu iki bileşenin oranı yüksek olduğunda hem kimyasal dayanımı yüksek hem de ıslatma açısı yüksek emaye kaplama elde edilmiştir.

Yapılan analizlerde en iyi sonucu 2, 5, 8 numaralı denemeler vermiştir. Aralarındaki en yüksek sonuç 5 numaralı deneyde 77.8° ölçülmüştür. Bu değerlere göre frit kullanım oranlarının en etkili olduğu görülmüş ve B fritinin kullanım oranı arttığında ıslatma açısının arttığı sonucu çıkarılmıştır.



Şekil 2. 1 -9 nolu deneylere ait ıslatma açıları.

Yumurta Pişirme Testi

5 numaralı denemenin ıslatma açısı 76° olarak diğerlerinden yüksek ve kimyasal dayanımı iyi olduğu için yumurta pişirme testi bu kaplama üzerinde yapılmıştır. Yumurta pişirilip yüzeyde bıraktığı kalıntı kontrol edilmiştir ve yüzeyde kalıntıya rastlanmamıştır. Bu durum emayenin ıslatma açısının yüksek olduğunu ve yapışmazlık özelliğinin sağlandığını göstermiştir.

Bu çalışmada piyasada kullanılan mevcut emaye kaplı mutfak gereçlerinin yapışmazlığının artırılması hedeflenmiştir. Yapışmazlığın sağlanması için ıslatma açısının 90°'nin üzerinde olması gerekmektedir. Bu özelliği sağlamak için frit formülleri, değirmen reçetesi, sıcaklık ve pişirme süreleri değiştirilerek denemeler yapılmış, ıslatma açıları ölçülmüştür. ıslatma açılarının yanı sıra kaplama yüzeylerinin düzgünlüğü, kaplamaların sitrik asit direnci, ETC ve renk değerleri de ölçülerek optimum nokta yakalanmıştır. Her ne kadar 90° ıslatma açısı hedeflense de normal emayelerde 35 – 50 arasında bulunan ıslatma açısı değeri bu çalışma ile 80°'e kadar çıkarılmıştır.

SONUÇ

Deney sonuçlarına bakıldığında A frit miktarı arttığında ıslatma açısının yükseldiği görülmektedir. A fritinde bulunan ZrO₂ bileşeni emayenin kimyasala dayanımını arttırmış, P₂O₅ bileşeni ise emayenin ıslatma açısının artmasına sebep olmuştur.

Yapılan 9 farklı deneyin sonuçları incelendiğinde 5 nolu deneyde bulunan sonuçların kimyasal dayanımının kuvvetli ve ıslatma açısının 75°'nin üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Her ne kadar 2 ve 8 nolu deneylerde de ıslatma açısının yüksek olduğu görülse de 2 nolu deneyde yapılan ETC testinde hem lityum nitrat hem de ketçap testi sonuçları olumsuz sonuçlanmıştır. Ayrıca 8 nolu deneyde lityum nitrat olumlu sonuçlansa da ketçap testi sonucu olumsuzdur. Bu sebeple bu iki deneme bu çalışma için uygun sonucu vermemiştir.

5 nolu deneyde olumlu netice alınan parametrelere göre hazırlanmış plaka üzerinde yumurta pişirme testi yapılmıştır. Bununla birlikte ıslatma açısı 40° olan normal bir emayenin yüzeyinde aynı test yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre 40° ıslatma açısına sahip parça üzerinde yumurta yapışmış 5 numaralı parça üzerinde yumurtanın yapışmadığı gözlenmiştir. Bu sonuçta 5 nolu deney ile emayede

yapışmazlığın sağlandığı görülmektedir.

Bu çalışma ile 30-40° olan emaye ıslatma açısı 80°'ye kadar çıkarılmıştır. Bu değer hedeflenen değer altında olsa da emaye kaplama malzemelerine göre ıslatma açısı değeri 2 katına kadar çıkarılmıştır.

Yapılan denemeler sonucunda 5 numaralı deney parametreleri kullanıldığında emayenin yapışmazlığının sağlandığı tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmadaki desteklerinden dolayı Algortrio Kimya San. ve Tic. A.Ş. ekibine, bilgi ve deneyimlerini bizimle paylaşan Sn. Orhan Şahin'e teşekkür ederiz.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

KAYNAKLAR

- Ay, A. Soğuk emaye tekniği, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, <https://silo.tips/download/ayseley-ay-igf-emaye-blm-efi> (Erişim: 3.3.2023)
- Ayyıldız, S., Varol, T., Pürçek, G. (2021). Al7075 alaşımına uygulanan dekoratif krom kaplama tabakasının karakterizasyonu. Int. J. Pure Appl. Sci., 7 (1), 132-140.
- Ersoy, B., Çiftçi, H., Evcin, A. ve Şen, H. (2022). Camın çeşitli sıvılar ile ıslanabilirliği ve kullanılan temas açısı test sıvılarının serbest yüzey enerjisi değerine etkisi. Journal of Characterization, 2 (2), 147-160.
- Evcimen, N. (2007). Emaye üretiminde kaplama ve özelliklerin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü.
- Evele, H.F. (2000). Proper care of porcelain enamel powder for electrostatic application. Ceram. Eng. Sci. Proc., 21, 125-126.
- Harry, J. and Van Dolah, H.J.V. (1966). Method for manufacturing porcelain, enamel frit, U.S. Patent No. 3,278,284.
- Holcomb, J.A. (1967). Porcelain Enamel Coating. U.S. Patent No. 3,338,732.
- Kunshan, X., Zhiheng, L., Jiexi, Z. and Jie, L. (2022). Effect of tetragonal zirconia nanoparticle content on

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1262742

- enamel strength. *Ceramics International*, 48 (7), 9710–9720.
- Majumdar, A. and Jana, S. (2001). Glass and glass–ceramic coatings, versatile materials for industrial and engineering applications. *Bull. Mater. Sci.*, 24 (1), 69–77.
- Russo, F., Rossi, S. and Compagnoni, A.M. (2021). Porcelain Enamel Coatings, *Encyclopedia*, 1 (2), 388-400.
- Russo, F., Fontanari, V. and Rossi, S. (2022). Abrasion behavior and functional properties of composite vitreous enamel coatings fabricated with the addition of 316L stainless steel flakes. *Ceramics International*, 48 (16), 23666–23677.
- Rossi, S., Russo, F., Calovi, M., del Rincon, M. and Velez, D. (2021). The influence of the size of corundum particles on the properties of chemically resistant porcelain enamels. *Ceramics International*, 47 (8), 11618–11627.
- Rossi, S., Zanella, C. and Sommerhuber, R. (2014). Influence of mill additives on vitreous enamel properties. *Material Design*, 55, 880–887.
- Şahin, O. (2019). Dökme Demirlere Uygulanabilen Renkli Majolik Emaye Fritlerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği.
- Zhao, J., Wang, B., Pan, Y., Wang, W. and Zhao, C. (2021). Molecular dynamics simulation on wetting behaviors of n-octane and water droplets on polytetrafluoroethylene surfaces. *Chemical Physics Letter*, 785, 139161.

Yapım Projelerinde Nakit Akışı Üzerindeki Kur Riski Analizi

Özlem Tüz Ebese^{1*}, Hakan Yaman²

¹Mersin Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye

*ozlemtz@yahoo.com^{ID}, yamanhak@itu.edu.tr^{ID},

Makale gönderme tarihi: 27.07.2023, Makale kabul tarihi: 24.10.2023

Öz

İnşaat, ekonominin lokomotif sektörlerinden biridir ve sektör yüksek risk ve düşük kar marjı taşımaktadır. Kur riski, özellikle nakit akışlarında farklı para birimleri olan yapım projeleri için hayati bir öneme sahiptir. Yapım projelerinin oynak kur ortamındaki kar kaybı ve maliyet değişimleri, kur riskinin ölçülmesini ve bu riskin varlığının tespit edilerek rasyonel bir şekilde yönetilmesini önemli hale getirmiştir. Genel olarak, bu çalışmada, Monte Carlo simülasyonu kullanılarak döviz kurlarındaki dalgalanmaların yapım projelerinin nakit akışı ve proje tamamlanma bedeli üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Hesaplama ve sonuçların görselleştirilmesinde Matlab kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, kur riskinin proje nakit akışları üzerindeki etkisinin değişken olduğu ancak yıllar içinde gittikçe artan oranda ve son derece önemli etkileri olabileceği elde edilen bulgular arasındadır. Bulgular, fizibiliteden inşaata ve tamamlanmaya kadar projenin yaşam döngüsü boyunca kur riski yönetiminin önemini vurgulamaktadır. Kur riskinin etkisiyle projenin karlılığının ne kadar dalgalanabileceğinin bilinmesi bu risk etkisinden korunacak bütçenin belirlenmesi açısından önemlidir. Kur değişikliklerinin maliyetler üzerindeki etkilerini önlemek için tüm proje ve inşaat aşamalarında kur riski yönetimi yapılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Finansal risk, yapım projeleri, nakit akışı yönetimi, proje yönetimi, risk yönetimi, kur riski

Currency Risk Analysis on Construction Cash Flows

Abstract

The construction industry is one of the locomotive sectors of the economy and operates with high risk and low profit margins. Currency risk, has a vital importance especially for the construction projects which have different currencies at their cash flows. The profit loss and cost changes of construction projects at volatile currency atmosphere, have made it important to measure the currency risk and to manage it rationally after determining the existence of this risk. Overall, this study highlights the importance of measuring and analyzing currency risk in construction projects. The findings reveal that currency risk has a considerable impact on construction project profitability. The study also highlights the importance of currency risk management throughout the project's lifecycle, from feasibility to construction and completion. It is important to know how much the project's profitability can fluctuate with the effect of exchange rate risk to determine the budget to be protected from this risk effect. Currency risk management have to be done during the all project and construction phases to prevent the effects of currency changes on the costs.

Keywords: Financial risk, construction, cash flow management, project management, risk management, currency risk

GİRİŞ

Döviz kuru riski, 1970’li yılların başlarında Bretton Woods Sistemi’nin terk edilmesinden sonra, uluslararası finansın en önemli konularından biri haline gelmiştir. Bu sistemin uygulamasının son bulması sonucunda, ülkeler paralarını dalgalanmaya bırakmış ve kurların gelecekte alacağı değerlerin tam olarak bilinmemesi başlı başına bir risk unsuru haline gelmiştir. Değişen döviz kurları, firmaların nakit akışlarını kaçınılmaz olarak etkilemektedir.

Bu çalışmada yapım projelerinde döviz kuru etkisinin proje nakit akışları üzerindeki etkisi Monte Carlo simülasyonu ile analiz edilmiş ve sonuçlar ilerleyen bölümlerde aktarılmıştır. Literatürde inşaat firmalarının kur riskinden etkilendiğini gösteren çalışmalar olmakla birlikte bu durumu sayısallaştıran çalışmalara rastlanmamaktadır.

Risk ve Kur Riski

Risk genellikle beklenmeyen sonuçlarla karşılaşma olasılığı olarak karşımıza çıkar. Bir diğer tanımıyla risk, “beklenen değer ile gerçekleşen değer arasındaki olumlu ya da olumsuz farktır (Donaldson, 2000).

The Journal of Portfolio Dergisinin kurucu editörü Peter L. Bernstein, “Modern zamanlarla karanlık geçmiş çağlar arasındaki devrimci fikir, insanın riski kontrol altına alarak ona hükmetmeyi öğrenmesidir” demektedir (Bernstein, 2006).

Kur riski, “kurun değerindeki dalgalanmalara bağlı olarak, varlıklar ve yükümlülüklerde ortaya çıkabilecek zarar veya kar etme ihtimali” olarak tanımlanır (Bolgün ve Akçay, 2005). Günümüzde yapım projelerini üstlenen inşaat firmaları bilançolarının aktifinde bulunan döviz varlıkları, döviz cinsinden olan alacakları, pasifinde bulunan döviz kredi borçları ve diğer döviz borçları ile dış ticaret işlemlerinden doğan tüm borç ve alacakları önemli boyutlara ulaşabilmektedir. Tüm bu varlık ve yükümlülüklerin farklı para birimleri cinsinden olması döviz kuru riskinin kaynağıdır. Bu risk, küreselleşme olgusu ile ortaya çıkan uluslararası ticaretin artan hacmiyle birlikte etkisini eskiye nazaran daha fazla hissettirmektedir.

Artarda gelen ekonomik krizler (Tablo 1), risk yönetimi kavramının ortaya çıkmasına neden olmuş, küreselleşme sonucu dünyanın herhangi bir yerinde ortaya çıkan bir krizin etkisinin eskisinden daha fazla hissedilir oluşu, söz konusu risklere duyarlılığı ve risk yönetiminin önemini arttırmıştır.

Operasyonel riskler gibi finansal riskler de inşaat sektöründe en sık karşılaşılan ve yönetilmesi gereken riskler arasında göze çarpmaktadır.

Tablo 1.’den da izlenebileceği gibi, finansal risklerin çeşitliliğindeki artışlar, portföylerdeki büyümenin katlanarak artması ve finansal entegrasyon ile gelen global kriz sıklığının artması aktif pasif yönetimi ve risk yönetimi ihtiyacını daha da arttırmıştır

Yapım Projelerinde Kur Riski

İnşaat sektörü, Gayrisafi Milli Hasıla içindeki payı, diğer sektörlerle arasındaki girdi-çıkı ilişkisi ve yapısal özellikleri sebebi ile diğer sektörlerden farklı bir sektördür. Bu farklılıkları da inşaat projelerinin çok çeşitli risklere maruz kalmasına sebep olmaktadır(Tüz ve Ebese, 2013).

Yapım projeleri, işverenin talep ettiği süre sınırlamalarının yanı sıra, yüksek belirsizlik ve risk faktörlerinin oluşturduğu şartlar nedeniyle karmaşık ve dinamik bir çevrede başlamaktadırlar (Mulholland ve Christian, 1999).

Bu sebeple yapım sektöründeki projelerde, planlama sürecinde ön görülen birçok konunun, uygulama aşamasında beklenenden farklı gerçekleştiği ve yeniden planlama gereksinimi ortaya çıkardığı bilinir. Planlamanın diğer aşamalarına oranla belirsizliklerden etkilenme ve devamlı izlenme ihtiyacı finansal planlamada çok daha fazladır. Çünkü finansal planlamanın aksamaması özellikle projenin süresinde bitmesi, planlanan kalitede imali, planlanan bütçede tamamlanması gibi diğer tüm planlama hedeflerini de etkileyecektir.

Tablo 1. Ekonomik Krizler (Altaşlı ve Işık,2017)

Ekonomik Krizler	
Yıllar	Kriz Adı
1929	Büyük Buhran (Dünyanın en büyük ekonomik daralma krizi)
1948	İkinci Dünya Savaşı Sonrası Türkiye Devalüasyon Krizi
1954	Serbest Piyasa Ekonomisine Geçiş (Türkiye Enflasyon Krizi)
1958	IMF İstikrar Programı (Türkiye Devalüasyon Krizi)
1969	IMF İstikrar Programı (Türkiye Devalüasyon Krizi)
1974	I. Petrol Krizi (Türkiye)
1978	Dış Borç Açığı (Türkiye)
1979	II. Petrol Krizi(Türkiye)
1980	Latin Amerika Borç Krizi Meksika'da başlamıştır.
1986	24 Ocak Kararları Krizi (Türkiye Devalüasyon)
1987	Kara Pazartesi Kaldıraçlı Satın Almalar, M&A s
1988-1989	Stagflasyon Krizi (Türkiye)
1989-1991	Birleşik Devletler Konut Finansmanı Şirketleri Krizi (Savings & Loan) Yetersiz Bankacılık Düzenlemeleri
1990	Japonya Aktif-Balon Ekonomisinin Çöküşü (Asset Price Bubble) Mali Kriz
1991	Türkiye Finansal Kriz (Körfez Krizi)
1994	Türkiye Finansal Kriz (Cari Açık)
1994-95	Meksika Ekonomik Krizi Devalüasyon ve Borçlanma
1997-98	Asya Finansal Krizi Asya Genelinde Devalüasyon, Bankacılık Sisteminde Çöküş
1998-1999	Rusya Finans Krizi Devalüasyon ve Borçlanma
2000-2001	Arjantin Ekonomik Krizi Bankacılık Sisteminde Çöküş (Büyük çöküş)
2001	Türkiye Krizi
2008	Global Finans Krizi 2007 ABD Subprime Krizi ile başlayan ve tüm dünyaya yayılan Likidite ve Güven Sorunu
2009	Küresel Kriz
2018-	Türkiye döviz ve borç krizi
2020-2022	Covid 19 Pandemik Kriz
2022-	Rusya Finans Krizi

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1333638

Çeşitli çalışmalar, uluslararası inşaat firmalarının döviz kuru, enflasyon, kredi ve diğer iş riskleri gibi karmaşık risklere maruz kaldıklarını desteklemektedir (Lee ve Waiters, 1989; Han, 1999). Uluslararası inşaat projelerinde ekonomik risk faktörleri arasında en önemlilerinden biri olarak maliyet aşımı riskine neden olan ve karlılığı etkileyen döviz kuru riski sayılabilir (Wiswanathan, 2020; Yousri ve ark., 2023). Günhan ve Arditi'nin 2005' te yaptığı çalışmada, enflasyon ve döviz kuru dalgalanması faktörleri birlikte değerlendirilmiş ve 7 önemli genel faktörün içinden %13,30 ağırlıkla uluslararası inşaatı etkileyen üçüncü faktör olmuştur (Günhan ve Arditi, 2005). Claudio Loderer ve Karl Pichler'in, 1996 yılında yaptığı anket sonuçlarına göre, ankete katılan firmaların, firmanın döviz kuru riski profilini bilmediği, hatta yarısından fazlasının proje nakit akım tablolarındaki döviz kuru risk profilini bile bilmemekte olduğu ortaya çıkmıştır. Ankete katılanlar bu konuyu bilmeleri gerektiğini de düşünmüyorlardır ve bildiğini söyleyenler de çok kaba saba bir bilgiye sahiptir, sadece 12 ay civarında bir ufka odaklanmışlardır ve daha ötesini düşünmemektedirler. Proje yapım sürelerinin 12 ayla sınırlı olmadığını düşününce durumun vahameti ortadadır. Firmaların neden hiç önlem almadığına dair olası sebepler araştırıldığında ise, firma risk profillerini ölçmenin önemini anlamakta zorluk çektikleri için risk açıklarının önemsiz ve sıradan olduğuna inanmak gibi bir sebebe sahip oldukları ortaya çıkmaktadır (Loderer ve Pichler, 2000).

Shin ve Soenen, "döviz kuru dalgalanmaları uluslararası faaliyetleri olan firmaların performansı üzerinde, yurtiçi ve yurtdışı ürünlerinin göreceli fiyatlarını ve döviz cinsinden sabitlenmiş yükümlülüklerini etkilemek suretiyle önemli bir etkiye sahip olabildiğini belirtmektedirler (Shin ve Soenen, 1999).

Philpot 2019'da, "Brexit'in ardından poundun gücündeki dalgalanmaların Birleşik Krallık inşaat endüstrisinin büyük ölçüde ithal mal ve hizmetlere dayanması sebebiyle projeler üzerinde, özellikle işçilik ve malzeme maliyeti açısından çok önemli bir etkiye sahip olabileceğini belirtmiştir (Philpot, 2019).

Doğu Asya'da döviz kuru dalgalanmaları bütçe aşımına sebep olan en kritik faktörlerden biri olarak

bulunmuştur (Chua ve ark., 2003). Yapılan bazı diğer çalışmalarda ise döviz kuru dalgalanmalarından ortaya çıkan risk, ortak girişimler için değişen oranlarda ama hep önemli bulunmuştur (Bing ve ark., 1999; Shen ve ark., 2001).

Shibani ve diğer araştırmacıların 2022 yılındaki yapılan çalışmalarında belirtildiği üzere, büyük inşaat projeleri, özellikle yurtdışı projeler veya farklı para biriminde uygulanan projeler, planlarken, dikkate alınması gereken en önemli ekonomik risklerden biri kurun dalgalanmasıdır. İnşaat projelerinde etkili bir risk yönetimi planı özellikle Lübnan gibi yüksek kur dalgalanması riski taşıyan bir ülkede inşaat sürecindeki kayıpları en aza indirecektir (Shibani ve ark., 2022).

2022 de Mısır'da yapılan bir çalışmada konut projelerin planlama aşamalarında maliyet risklerini etkileyen faktörler arasında en önemli risk faktörünün döviz kuru riski olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Badawy ve ark., 2022).

Ameyaw ve Chan'ın 2015'te gelişmekte olan ülkelerde yaptıkları çalışmada, Kamu- Özel-Ortaklığı su temini projelerinde 40 risk faktörü içerisinde öngörülemeyen döviz kuru riski birinci sırada yer almıştır (Ameyaw ve Chan, 2015).

Döviz kuru değişkenliği, ihracatçı veya ithalatçı olması farketmeksizin yabancı para cinsinden varlık ve yükümlülükleri olan firmalar ile yurt dışında faaliyet gösteren firmalar için bir nakit akışı riski kaynağıdır. Bunun yanı sıra, yabancı para cinsinden gelirleri, maliyetleri veya faaliyetleri olmayan firmalar da, yabancı rekabet veya daha geniş makro-ekonomik koşullar üzerindeki etkisi yoluyla döviz kuru değişikliklerinden dolayı olarak etkilenebilir (Parsley ve Popper, 2002).

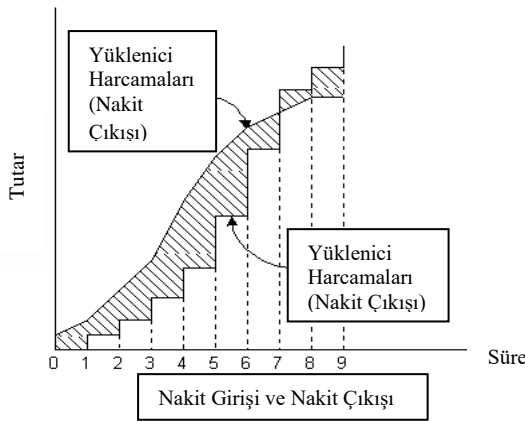
Yapım Projelerinde Nakit Akışı

Nakit akışı bir işletmenin belirli bir dönem itibarı ile elde ettiği nakit girişleri ve bu süre zarfında gerçekleşen nakit çıkışlarıdır. Nakit akım tablosu, bir işletmenin belirli bir hesap döneminde ortaya çıkan nakit akışlarını, kaynakları ve kullanım yerleri bakımından gösteren tablodur. İnşaat projesinin nakit girişinde, hakediş gelirleri, işveren avansları, teminat kesintisi iadeleri, kredi kullanımları vardır. Nakit çıkışında ise, işçilik, ekipman ve malzeme alımları, taşeronlara yapılan ödemeler, taşıma giderleri, vergi, kredi geri ödemeleri ve genel giderler görülür (Tüz, 2013).

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1333638

Yapım projelerinin finansal planlaması, teklif hazırlıklarıyla başlar. İmalatı yapılacak projenin iş programı oluşturulur ve taahhüt maliyeti, teklif fiyatı ve ödeme planı belirlenir. Ancak, imalat sürecinde ödeme planları değişebilir. Süreçteki değişiklikler ve imalat süresinin uzun olduğu için maruz kalınan riskler sebebiyle yapım projelerinin nakit akışı tahminleri diğer sektörlere göre daha belirsizdir, Yapım projelerinde nakit çıkışları yüksek ve büyük miktardaki nakit çıkışları genellikle zamana yayılmadığı için nakit akım tablolarında büyük nakit çıkışları ya da girişleri oluşur. Nakit akım tabloları zaman içindeki dalgalanmaları önceden tahmin etmeyi ve önlemler almayı sağlar.

Nakit akışı tabloları, projenin finansmanının bilinmesi ve her aşamasında planlanması açısından kritik öneme sahiptir. Projenin genel maliyet performansını ölçmek, izlemek, kontrol etmek ve yönetmek için kullanılır. Maliyet çizgisi, bütçenin zaman aralıklarına bölünmüş halini gösterir ve dönemler için tahmin edilen maliyetlerin toplanması ile oluşturulur. Bu çizgi genellikle Şekil 1'deki gibi S-eğrisi şeklindedir (Kenley ve Wilson, 1986). S eğrisinin yatay ekseninde süre, dikey ekseninde ise parasal değerler izlenebilir. S eğrisi genellikle herhangi bir andaki nakit akışının hızlıca tahmininde kullanılabilir. Maliyet çizgisi proje yönetim planının bir parçasıdır (PMBOK, 2021).



Şekil 1. S Eğrisi (PMBOK,2021)

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, döviz kurlarındaki dalgalanmaların yapım projelerinin nakit akışı ve proje tamamlanma bedeli üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Kur riskinin nakit akışına etkisi

ölçülürken Monte Carlo simülasyon tekniği, hesaplama ve sonuçların görselleştirilmesinde Matlab kullanılmıştır. Elde edilen değerler kur riski etkisi ile karlılığın ne kadar dalgalanabileceğini göstermektedir ve kur riski etkisinden korunmak için oluşturulacak bütçenin belirlenmesinde kullanılabilir.

Modelin Kavramsal Kurgusu

Yapım projelerinde döviz kuru riskinin değerlendirilebilmesi için, içinde birden çok para birimi barındıran projelerin nakit akışı bilgileri ve proje dönemindeki döviz kurları değerleri bilinmelidir.

Proje nakit akışlarını ve döviz kurlarının nakit akışlarına etkisini simüle etmek için kullanılan başlıca veriler proje süresi (Ay), S eğrisinin formu, döviz miktarı ağırlıkları, proje başlama tarihi ve döviz kurlarıdır.

Bu çalışmada Monte-Carlo simülasyon tekniği kullanılmıştır. Monte Carlo simülasyon tekniği, deneysel ve istatistiksel problemlerin çözümüne, rastgele sayılarla yaklaşımlara verilen genel bir isimdir. Monte Carlo tekniği yardımıyla rastgele sayılardan yararlanarak defalarca benzetim yapıp, elde edilen yaklaşık sonuçların dağılımı değerlendirilir. Çalışma kontrol, kullanım ve sunum kolaylığı ve kabiliyetleri nedeniyle Matlab (Mathworks) ortamında gerçekleştirilmiştir.

Modelin Sınırlamaları ve Varsayımları

Projenin nakit girişleri Türk Lirası, Euro veya Amerikan Doları olarak seçilebilir. Bu çalışmada sözleşmelerin genelde tek para biriminde olması sebebiyle nakit girişlerinde tek para birimi olarak Türk Lirası kullanılmıştır. Nakit çıkışları Türk Lirası, Euro, Amerikan Doları para birimlerinin çeşitli ağırlıklardaki kompozisyonu ile üretilebilir. Tarihi kur verileri Ocak 1999-Haziran 2023 aralığındadır. Nakit giriş ve çıkışlarının aynı para birimi olması durumunda da oluşabilecek dolaylı döviz kuru etkileri ihmal edilmektedir. Yapım projelerinin nakit akışlarında, sadece kur değişiminden kaynaklanabilecek risklerin analizi amaçlanmış olup, diğer risk yönetim alanları ve bunların kur riskine dolaylı etkileri kapsam dışı bırakılmıştır.

Model yapım projelerinde nakit akışlarının S eğrisi biçiminde olduğu kabulü ile çalıştırılmıştır ve

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1333638

projelerde nakit girişleri ve çıkışlarının her ay aynı gün olduğu kabul edilmiştir.

Model

Nakit çıkışı verilen min. değer ile max. değer arasında kalarak seçilen adım büyüklüğü ile döviz ağırlıkları toplamı 100 olacak şekilde hesaplanır. Kullanılan değerlere bağlı olarak yapılan ağırlıklı nakit çıkışları tablosu aşağıdaki verilmektedir.

Tablo 2. Nakit Çıkışı Ağırlıkları Tablosu

	USD	EURO	TL
MİN	0	0	0
MAX	100	100	20
STEP	10	10	10

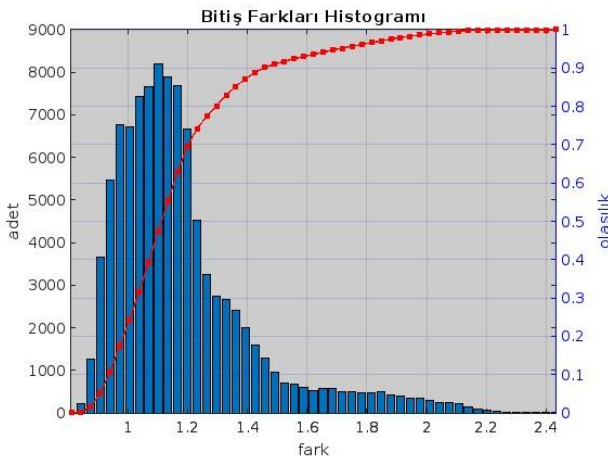
Simülasyon sırasında gerçek hayata uygunluğu simüle etmek için nakit akışı dağılımı, sağa ve sola çarpıklaşmaktadır.

Monte Carlo simülasyonu çevrim sayısı 100,000 olarak seçilmiştir.

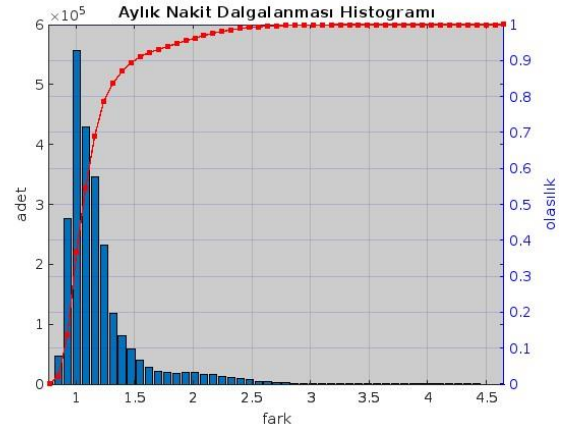
Simülasyonda kullanılan döviz kurları Avrupa Birliği Merkez Bankası veri setlerinden alınmıştır (ECB).

Bu model çalıştırılarak, döviz kuru riskinin yapım projeleri üzerindeki etkisi analiz edilmiştir ve analiz sonuçları Şekil 2 ve Şekil 3' de sunulmaktadır.

Şekil 2, Bitiş farkları histogramı, proje bitişinde kur farklarının etkisiyle oluşan bitiş bedelini göstermekte, Şekil 3, aylık nakit dalgalanması histogramı, aylık nakit çıkışında kur farklarının etkisi ile oluşan aylık nakit çıkışını göstermektedir.



Şekil 2. Bitiş farkları histogramı



Şekil 3. Aylık nakit dalgalanması histogramı

Tablo 3. Histogramlardaki görsel verilerin sayısal gösterimi

Olasılık Dağılımı Tablosu			
	Olasılık	Bitiş	Aylık
1	0	0	0
2	0.0500	0.9143	0.8977
3	0.1000	0.9448	0.9291
4	0.1500	0.9694	0.9529
5	0.2000	0.9935	0.9684
6	0.2500	1.0172	0.9840
7	0.3000	1.0389	1.0012
8	0.3500	1.0604	1.0193
9	0.4000	1.0810	1.0387
10	0.4500	1.1011	1.0595
11	0.5000	1.1208	1.0818
12	0.5500	1.1415	1.1051
13	0.6000	1.1625	1.1313
14	0.6500	1.1845	1.1584
15	0.7000	1.2097	1.1863
16	0.7500	1.2477	1.2218
17	0.8000	1.3028	1.2766
18	0.8500	1.3664	1.3653
19	0.9000	1.4646	1.5164
20	0.9500	1.7154	1.9099
21	1	2.4388	4.6697

Bulunan sonuçlar seçilen parametre setinin simülasyonu ile elde edilmişlerdir. Proje bitiş ve aylık dalgalanma histogramları ve tablosu aşağıdaki yaklaşımla yorumlanabilir:

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1333638

Örnekte projelerin sadece %25'i planlanan tamamlanma bedeline eşit veya altında gerçekleşmiş, geri kalan %75'i planlanan tamamlanma bedelini aşmıştır. Projelerin %5'i planlanan tamamlanma bedelinin 1,75, %10'u 1,46, %15'i 1,36 katı ve üstüne tamamlanmıştır.

Örnekte projelerin nakit çıkışlarının sadece %30'u planlanan aylık nakit çıkış bedellerini aşmamış, eşit veya altında gerçekleşmiş, geri kalan %70'i planlanan aylık nakit çıkış bedellerini aşmıştır. Projelerin %5'i planlanan aylık nakit çıkış bedellerini 1,90, %10'u 1,51, %15'i 1,36 katı aşmıştır.

Olasılığın %5 lik adımlarla değişimine karşılık gelen proje tamamlanma bedelleri ve aylık nakit çıkış bedelleri Tablo 3'de sunulmaktadır

TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada elde edilen değerler kur riski etkisi ile yapım projeleri karlılığının zaman zaman ne kadar çarpıcı dalgalanabileceğini göstermektedir. Özellikle son yıllarda sıklığı artan ekonomik krizler ve globalleşme sebebiyle farklı para birimleriyle çalışmak finansal risklere maruz kalma olasılığını artırmaktadır. Projelerin nakit akışı, projenin başlangıcından tamamlanma aşamasına kadar her aşamasında etkin bir şekilde takip edilmeli ve bu süreçte olası aksaklıklara karşı gerekli uygun önlemler zamanında alınmalıdır. Bu yaklaşım, yapım projelerini bir dizi kritik riskten koruyacaktır. Döviz kuru riski de, projelerin maruz kalabileceği olası riskler arasında yer almaktadır. Çeşitli nakit akışı tahmin teknikleri yapım projelerinin finansal pozisyonu anlamak ve firmaların iflas riskinden kurtulması için kullanılabilir.

Analiz aracılığıyla kur riskinden dolayı oluşabilecek zarar veya karları görmemiz sağlanmaktadır. İş ne kadar doğru yapılırsa yapılsın, sadece kur riskinden dolayı planlanan bütçenin çok üzerinde tamamlanabilir. Bu bütçe aşımı tüm karı eritebildiği gibi zarara da yol açabilir. Dalgalanan aylık nakit akışları ve bütçe aşimleri işin tamamlanmasını engelleyebilir. Tam tersi açıdan bakılırsa kurun nakit akışlarındaki pozisyonu desteklediği durumlarda elde edilen kar spekülattir. Bu karlılığın yapılan işle hiçbir ilgisi yoktur öyle ki sadece döviz pozisyonu tutularak aynı kar elde edilebilir.

Proje tamamlanma bedeli, nakit giriş çıkışlarının farklı kurlardan olması ve kurlardaki

oyunaklığın etkisine bağlı olarak, bütçelenen bedelden farklılaşabilir. Proje sonunda, kur oyunaklığının tamamlanma bedelinde bir farklılık yaratmamış olması durumunda bile, aylık nakit akımları oyunaklığın etkisi altındadır. Bu durumda olan inşaat firmaları yeterli finansal yönetimi yapmamışlarsa zarar edebilecekleri gibi projenin devamını da riske atarlar. Firma, nakit akımlarının oynak durumda kalması yüzünden ek kaynak yaratmak ve elindeki fazla kaynağı değerlendirmek arasında dalgalanır. Firma iflas riski yaşayabilir.

Çalışmadan elde edilen veriler kur riski etkisinden korunmak için oluşturulacak bütçenin belirlenmesinde kullanılabilir.

Kur riski yönetimi tüm proje süreçlerinde analiz edilerek kesintisiz olarak sürdürülmelidir. Dalgalanan kurlar proje tamamlanma bedelini ve aylık nakit akışlarını dinamik olarak etkilemektedir.

Takip edecek çalışmalarda yapım projelerinde kur riski etkisinden korunma amaçlı alınabilecek önlemler ve korunma yöntemleri ele alınabilir, kur riski etkisinden korunma amaçlı yönetim için geleneksel yöntemlere ek olarak, yeni ve inovatif finansal stratejiler araştırılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 2013 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde kabul edilen "Yapım Projelerinde Kur Riskinin Analizine Yönelik Bir Model Önerisi" isimli doktora tezinden türetilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar/ Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazar/Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

KAYNAKLAR

- Altaşlı, Y.A. ve Işık, M. (2017). Türkiye'de yaşanan ekonomik krizlerin istihdam üzerine etkileri (1980-2013). Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 22 (2), 567-585.
- Ameyaw, E.E., ve Chan, A.P. (2015). Evaluation and ranking of risk factors in public-private partnership water supply projects in developing countries using fuzzy synthetic evaluation approach. Expert Systems with Applications, 42 (12), 5102-5116.
- Badawy, M., Alqahtani, F. ve Hafez, H. (2022). Identifying the risk factors affecting the overall cost

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1333638

- risk in residential projects at the early stage. *Ain Shams Engineering Journal*, 13 (2), 101586.
- Bernstein, P.L. (2006). Tanrılara karşı riskin olağanüstü tarihi. Scala Yayıncılık, İstanbul.
- Bing, L., Tiong, R., Fan, W. ve Chew, D. (1999). Risk management in international construction joint ventures. *Journal of Construction Engineering Management*, 125 (4), 277–284.
- Bolgün, E. ve Akçay, M.B. (2005). Risk yönetimi gelişmekte olan Türk finans piyasasında entegre risk ölçüm ve yönetim uygulamaları. Scala Yayıncılık, İstanbul.
- Chua, D.K.H., Wang, Y. ve Tan, W.T. (2003). Impacts of obstacles in East Asian cross border construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 129 (2), 131-41.
- Donaldson, G. (2000). Corporate debt capacity, a study of corporate debt policy and the determination of corporate debt capacity. Beard Books, Washington D.C.
- Günhan, S. ve Arditi, D. (2005). Factors affecting international construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131 (3), 273-282.
- Han, S.H. (1999). Risk-based go~no-go decision making model for international construction projects: the cross impact analysis approach. Doktora Tezi, University of Colorado at Boulder.
- Kenley, R. ve Wilson, O. (1986). A construction project cash flow model- an idiographic approach. *Construction Management and Economics*, 4 (3) 213-232.
- Lee, J. ve Waiters, D. (1989). International trade in construction, design, and engineering services. Ballinger Yayıncılık, Cambridge.
- Loderer, C. ve Pichler, K. (2000). Firms, do you know your currency risk exposure? Survey results. *Journal of Empirical Finance*, 7 (3-4), 317-344.
- Mulholland, B. ve Christian, J. (1999). Risk assessment in construction schedules. *Journal of Construction Engineering and Management*, 125 (1), 8-15.
- Parsley, D. ve Popper, H. (2006). Exchange rate pegs and foreign exchange exposure in East and South East Asia. *Journal of International Money and Finance*, 25 (6), 992-1009.
- Philpot, C. (2019). Managing currency fluctuation risk. *Construction Law*.
- PMBOK, (2021). A guide to the project management body of knowledge, 7.baskı. Project Management Institute, NY, ABD.
- Shen, L., Wu, G. ve Ng, C. (2001). Risk qssessment for construction joint ventures in China. *Journal of Construction Engineering Management*, 127 (1), 76–81.
- Shibani, A., Hasan, D., Saaifan, J., Sabboubbeh, H. Eltaip, M., Saidani, M. ve Gherbal, N. (2022). Financial risk management in the construction projects. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*.
- Shin, H. ve Soenen, L. (1999). Exposure to currency risk by US multinational corporations. *Journal of Multinational Financial Management*, 9 (2), 195-207.
- Tüz, Ö. (2013). Yapım Projelerinde Kur Riskinin Analizine Yönelik Bir Model Önerisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Fakültesi, Yapı Bilimleri Programı.
- Tüz Ö. ve Ebeseke, Ş. (2013).Yapım Projelerinde Kaldıraç Oranı Tahmini için bir Model Önerisi, İşletme Araştırmaları Dergisi, 5 (4), 227-239.
- Wiswanathan, S.K. ve Jha, K.N. (2020). Critical risk factors in international construction projects- An Indian perspective. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27 (5), 1169-1190.
- Yousri, E., Sayed, A.E.B., Farag, M.A.M. ve Abdelalim, A.M. (2023). Risk Identification of Building Construction Projects in Egypt. *Buildings*, 13 (4), 1084.

Systematic Literature Review and Scientific Maps on Ecological Architecture and Eco-Architecture

Emine Banu Burkut^{1*}, Murat Dal²

¹Konya Technical University, Department of Architecture, Konya Türkiye

²Munzur University, Faculty of Fine Arts, Design and Architecture, Department of Architecture, Tunceli, Türkiye

*burkutbanu@gmail.com , muratdal@munzur.edu.tr 

Received date:25.09.2023, Accepted date:29.12.2023

Abstract

The purpose of this article is to examine systematic literature reviews and scientific maps on the subjects of Ecological architecture, eco-architecture, and ecological architectural design. The method of this research is bibliometric analysis, one of the quantitative research methods. The data of the research are publications in the Scopus database between 2000 and 2023. For the analysis, graphics from the Scopus database and the Biblioshiny software program were used. Research findings offer a comprehensive overview of theories, concepts, trends, and publications in the field of ecological architecture, eco-architecture, and ecological architectural design. Additionally, the concepts that stand out in the publications are ecology, sustainable architecture architectural design, environment, green building, design, energy efficiency, architecture design, green architecture, experimental simulation, sustainable design, landscape, nature, sustainable design, thermal design, architectural education, climate change, construction, ecological architecture design. The significance of this research lies in its provision of a conceptual foundation for future studies in the intersection of ecology and architecture. For future research, it is recommended to conduct studies using various databases such as Web of Science, ProQuest Dissertations & Theses Global, etc., at different intervals over the years.

Keywords: Ecological architecture, eco-architecture, ecological architectural design, bibliometric analysis, systematic literature review

Ekolojik Mimarlık ve Eko-Mimari Üzerine Sistemik Literatür Taraması ve Bilimsel Haritaları

Öz

Bu makalenin amacı Ekolojik mimari, eko-mimari, ekolojik mimari tasarım konularında sistemik literatür taraması ve bilimsel haritaları incelemektir. Bu araştırmanın yöntemi nicel araştırma yöntemlerinden biri olan bibliyometrik analizdir. Araştırmanın verileri Scopus veri tabanında 2000-2023 yılları arasında yapılan yayınlardır. Söz konusu analiz için Scopus veri tabanı ve Biblioshiny yazılım programının grafikleri kullanılmıştır. Araştırma bulguları ekolojik mimari, eko-mimari ve ekolojik mimari tasarım alanındaki teoriler, kavramlar, eğilimler ve yayınlara ilişkin kapsamlı içerik sunmaktadır. Ayrıca, yayınlarda öne çıkan kavramlar ise ekoloji, sürdürülebilir mimari mimari tasarım, çevre, yeşil bina, tasarım, enerji verimliliği, mimari tasarım, yeşil mimari, deneysel simülasyon, sürdürülebilir tasarım, peyzaj, doğa, sürdürülebilir tasarım, termal tasarım, mimari eğitim, iklim değişikliği, inşaat, ekolojik mimari tasarım. Bu araştırmanın alana katkısı ise ekoloji ve mimarlık üzerine gelecekteki araştırmalar için kavramsal bir temel sunmasıdır. Gelecekte yapılacak diğer araştırmalar için farklı veri tabanlarında (Web of Science, ProQuest Dissertations & Theses Global vb.) farklı yıl aralıklarında araştırma yapılması önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik mimari, eko-mimari, ekolojik mimari tasarım, bibliyometrik analiz, sistemik literatür incelemesi

INTRODUCTION

The rapid increase in population, the unconscious overproduction of natural resources, the universal dimensions of the environmental crisis, and the impact of human activity first became the subject of the 1987 report of the World Commission on Environment and Development on Sustainable

Research article

DOI:10.29132/ijpas.1365407

Development Strategies. In order to address this situation, which led to the development of ecological architecture, the field of architecture should prioritize healthy and environmentally friendly building design. The challenges posed by ecological architecture in sustainable building design are examined under important headings: sustainable design principles, economic architectural artificial environment design, building material selection, air conditioning systems, waste management, building shell design, building geometry, and space organization. Ecological architecture is the process of designing and producing buildings while considering all living and non-living elements within the ecosystem. Efforts are being made to minimize the impact of artificial environments on natural systems (Porteous, 2013; Tönük, 2001).

The necessity of preserving the ecological balance and using alternative resources instead of natural resources leads architects, designers, and investors to produce new ideas and take new measures, which accelerates the construction of buildings that take into account the principles of ecological sustainable design (Brebbia & Pulselli, 2014). Ecological architecture and interior design make use of natural materials. Ecological building design should prioritize environmental friendliness, adhere to sustainable principles, and promote a healthy ecological cycle while optimizing resource usage.

During the ecological architectural design process by the designer, it is necessary to consider ecological principles in detail in design, architecture and planning. These principles are alternative energy use in buildings (solar, wind, geothermal, biomass, biogas, biodiesel, etc.), reuse of wastewater, rainwater collection, use of composted fertilizer, use of environmentally friendly materials and renewable landscaping elements (Demet, 2003).

In this research, the publications that can be accessed from the literature research on ecological architecture, eco-architecture, and ecological architectural design are as follows: ecological architecture (Crowther, 1990; Lau, 2005; Uffelen, 2009; Kwak et al., 2009; Gupta, 2012; Schröpfer, 2012; Porteous, 2013; Muller, 2014; Brebbia & Pulselli, 2014). Also sustainable design (Williams, 2007), socio-environmental impact (Ibrahim, 2010), and additionally environmental strategies (Bielek & Bielek, 2012). Additionally, ecological buildings:

new strategies for sustainable architecture (Lucas, 2021), influence of the green economy (Semenyuk, 2017), green roofs (Konyuhov et al., 2019), eco-architecture and the design of energy-efficient buildings (Semenyuk et al., 2018); sustainable mobility (Garcia, 2014), passive and active solar systems (Zareba, 2022), eco-architecture and revolution (Marangoni & Mucci, 2023), aesthetics artworks (Ardiani, 2022).

Also ecological architecture design method (Lan, 2011; Wu et al., 2011); biomimetic approaches (Krivenko et al., 2021); educating ecological architecture—ecological educational architecture (Costa Sontos et al., 2010); and science fiction, sustainability, and architecture design studio (Troiani, 2012). In this article, a systematic literature review and scientific mapping of ecological architecture and eco-architecture were conducted, and the analyses were evaluated.



Figure 1 Ecological Buildings (Lucas, 2021)

MATERIAL AND METHODS

This research is a systematic literature review and scientific mapping method. The systematic literature review is the process of collecting data in the Scopus database between August 15, 2023, and September 15, 2023. During the data collection process of the research, publications between 2000 and 2023 were included in the research, and publications from other years were excluded from the Scopus database.

Scopus database was searched with the words title-abs-key ("*ecological architectural design*") or title-abs-key ("*ecological architecture*") or title-abs-key ("*eco-architecture*") or title-abs-key ("*ecological architecture building*") or title-abs-key ("*ecological architecture education*"). The graphs visualized in the Scopus database after this search is as follows;

Research article

DOI:10.29132/ijpas.1365407

documents by year, document by subject area, document by affiliation, and documents by country or territory.

In this research, we analyze images of Biblioshiny software created for bibliometric analysis and scientific mapping. Massimo Aria and Corrado Cuccurullo developed Bibliometrix software in 2017 (Aria & Cuccurullo, 2017). The analyses visualized in this article were created in Biblioshiny software: most relevant words, trend topics, word clouds, co-occurrence network analysis, multiple correspondence analysis, and factorial analysis/words by cluster visuals.

RESULTS AND DISCUSSION

A search in the Scopus database yielded 255 documents with the keywords title-abs-key ("ecological architectural design"), title-abs-key ("ecological architecture"), title-abs-key ("eco-architecture") or title-abs-key ("ecological architecture building") or title-abs-key ("ecological architecture education")) 255 documents results between 2000 and 2023. The research results were evaluated under two headings: firstly, the results from the Scopus database, and secondly, the results from scientific maps.

Results of Scopus Database

As seen as Figure 2 document by year (2000-2023) in the chart, it started to increase rapidly after 2009 and was at its peak with 28 publications in 2011. There are also 24 publications in 2021 and 20 publications in 2021 in the Scopus database (Figure 2).

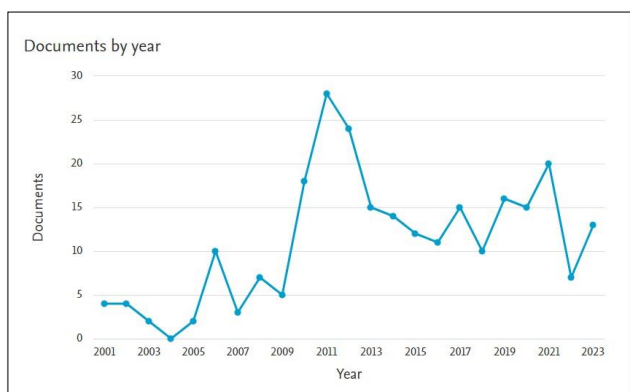


Figure 2 Documents by year (2000-2023)
 (Copyright © Elsevier. All rights reserved. Scopus®)

As seen in Figure 3, documents by subject area are: “Engineering” 141 document (31,5%), “Environmental Science” 76 document (17,0%), “Social Sciences” 56 document (12,5%), “Arts and Humanities” 34 document (7,6%), and “Computer Science” 34 document (7,6%). Additionally, “Earth and Planetary Sciences” 24 document (5,4%), “Energy” 21 document (4,7%), “Materials Science” 14 document (3,1%), “Agricultural and Biological Sciences” 13 document (2,9%), and “Mathematics” 8 document (1,8%) (Figure 3).

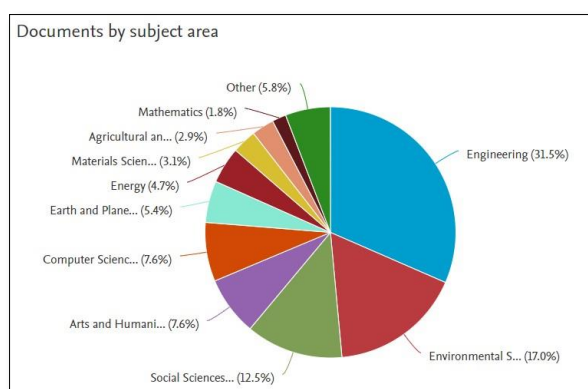


Figure 3 Documents by subject area
 (Copyright © Elsevier. All rights reserved. Scopus®)

As seen in Figure 4, the following documents show affiliation: “Xi'an University of Architecture and Technology” (7 documents), “Chang'an University” (5 documents), “Polytechnic University of Madrid” (4 documents), “Bina Nusantara University” (4 documents), and “L.N. Gumilyov Eurasian National University” (4 documents). Additionally, “Southeast University” has 3 documents, “Krakow University of Technology” has 3 documents, “Seoul National University” has 3 documents, and “Wuhan University of Technology” has 3 documents (Figure 4).

Research article
 DOI:10.29132/ijpas.1365407

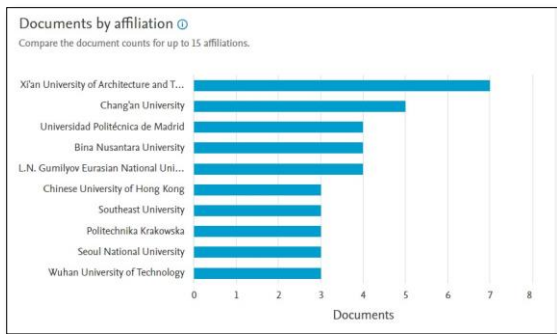


Figure 4 Documents by affiliation
 (Copyright © Elsevier. All rights reserved. Scopus®)

As seen in Figure 5, documents by country or territory: China has 78 documents, the United Kingdom has 21 documents, Indonesia has 13 documents, South Korea has 12 documents, the United States has 11 documents, the Russian Federation and Turkey have 10 documents, Italy has 9 documents, and Spain has 8 documents (Figure 5).

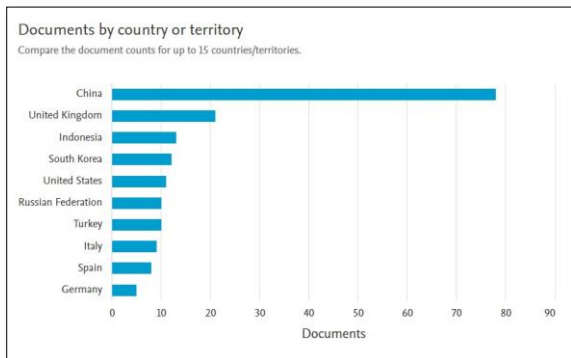


Figure 5 Documents by country or territory
 (Copyright © Elsevier. All rights reserved. Scopus®)

Moreover, filter by keyword number of results: “ecological architecture” (116), “ecology” (88), “architecture” (86), “architectural design” (62),

“sustainable development” (59), “design” (30), “sustainability” (24), “eco-architecture” (21), “civil engineering” (18), “energy efficiency” (17), “urban planning” (16), “planning” (16), “building materials” (16), “housing” (15), “building” (15), “energy conservation” (14), and “environmental protection” (12) in the Scopus database.

Results of Scientifics Maps

In this phase of the research, we utilized Biblioshiny software to generate the most relevant words (Figure 6), trend topics (Figure 7), co-occurrence network analysis, multiple correspondence analysis (Figure 8), and factorial analysis/word by cluster (Figure 9). As shown in Figure 6, the most pertinent words are listed based on their occurrence in the Scopus database. The words "ecological architecture" (59), "eco-architecture" (21), "sustainable development" (19), "sustainability" (13), and "architecture" (11) are shown in Figure 6.

Moreover, the figure illustrates the frequency of keywords in the field of architecture and ecology, with "ecology" (10), "sustainable architecture" (8), "architectural design" (6), "environment" (6), "green building" (6), "design" (5), "energy efficiency" (5), "architecture design" (5). Additionally "green architecture" (4), "experimental simulation" (4), "sustainable design" (4), "landscape" (4), "nature" (4), "thermal design" (4), "architectural education" (3), "climate change" (3), "construction" (3), and "ecological architecture design" being the most frequently occurring terms. Figure 7 shows a word cloud map of ecological architecture research created by the Biblioshiny software program. According to the word cloud, the terms "ecological architecture," "architecture," "ecology," "architectural design," and "sustainable development".

Research article
DOI:10.29132/ijpas.1365407

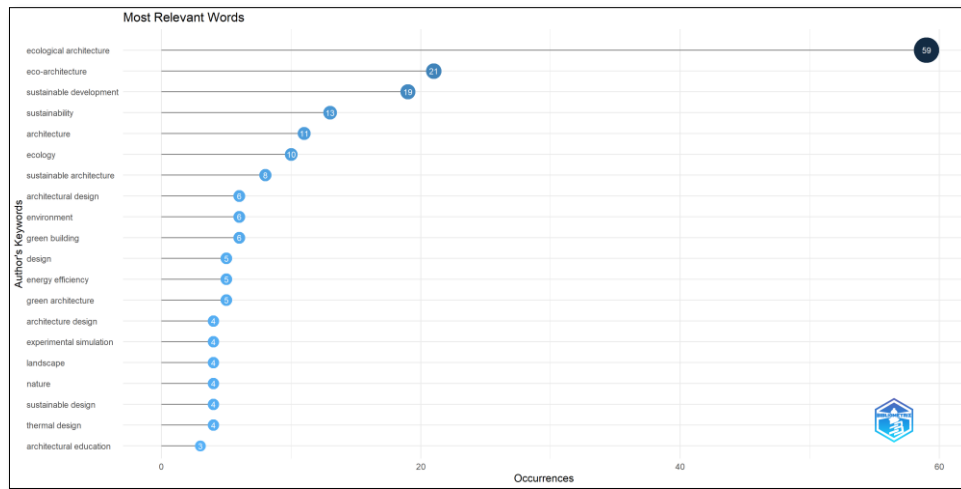


Figure 6 Most relevant words (Created by authors using R Studio- Bibliometrix Biblioshiny software)

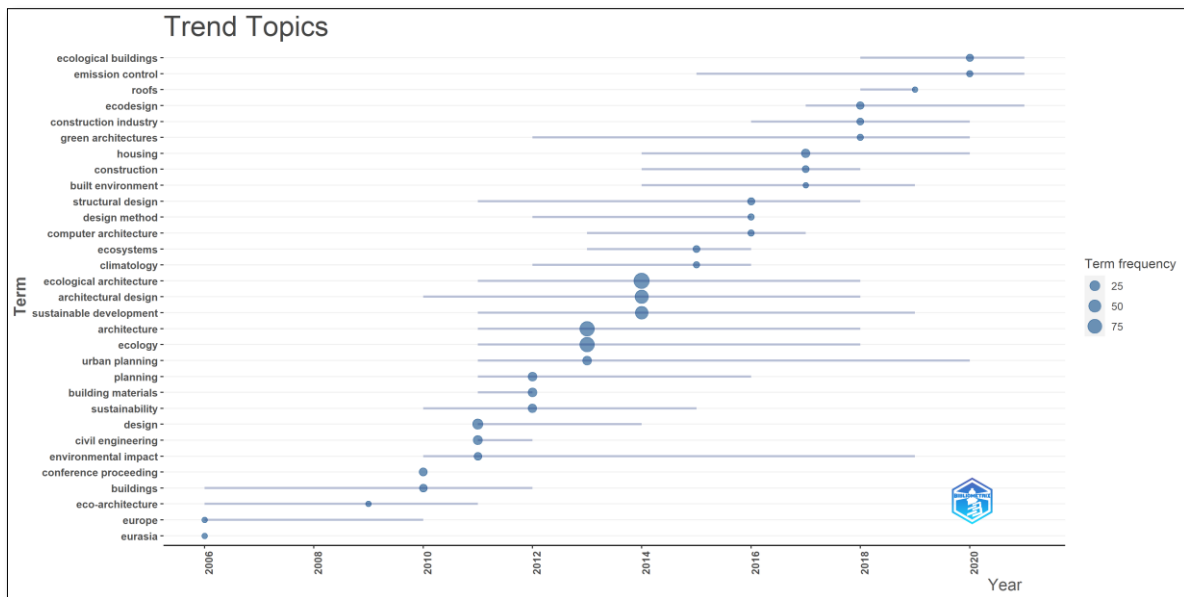


Figure 7 Trend topics (Created by authors using R Studio- Bibliometrix Biblioshiny software)

Table 2 Results of co-occurrence network analysis created by authors using Biblioshiny software

Node	Cluster	Betweenness	Closeness	PageRank
energy efficiency	1	9,747137449	0,013157895	0,023619047
sustainability	1	2,661973197	0,011764706	0,015540089
building	1	1,010748967	0,011494253	0,011877353
conference proceeding	1	0,098039216	0,010989011	0,008949448
environmental impact	1	0,712724614	0,011494253	0,011036683
ventilation	1	2,750454858	0,012195122	0,013417923
emission control	1	0,132993707	0,011111111	0,006966254
biodiversity	1	0	0,010638298	0,005756445
computational fluid dynamics	1	0	0,010869565	0,005183503
ecological architecture	2	260,0710949	0,019230769	0,118590206
ecology	2	136,543863	0,01754386	0,10072709
design	2	6,915798388	0,013513514	0,030266038
civil engineering	2	2,443172667	0,012345679	0,026082943
building materials	2	1,061599412	0,012195122	0,023248113
planning	2	2,439799596	0,012345679	0,024206338
housing	2	0,485444071	0,011627907	0,012986181
energy utilization	2	0,683004444	0,012048193	0,015157453
architecture designs	2	0,020408163	0,011494253	0,011244698
ecological buildings	2	0,58423536	0,011627907	0,012361901
ecological environments	2	0	0,011235955	0,010818239
historic preservation	2	1,533394269	0,0125	0,015697559
rural areas	2	0	0,010989011	0,007961742
construction	2	0	0,011111111	0,007518604
construction industry	2	0,216303355	0,011494253	0,010401579
ecosystems	2	0	0,010869565	0,006698656

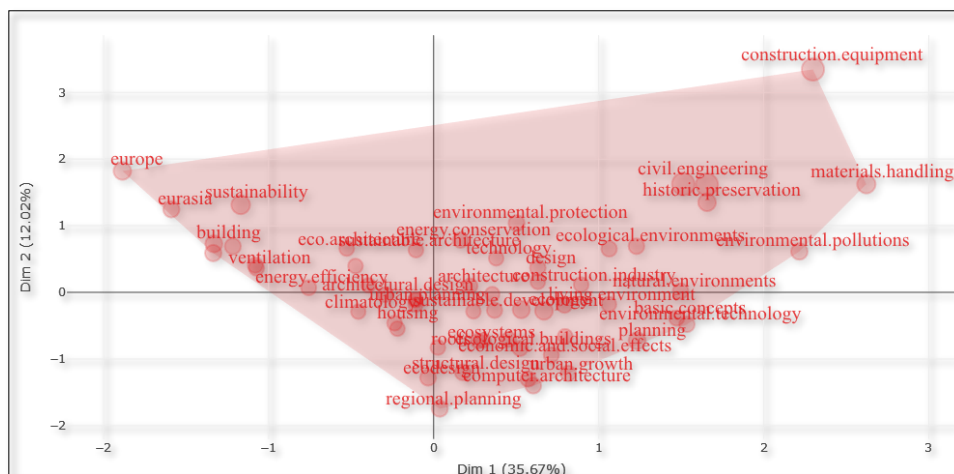


Figure 9 Multiple correspondence analyses

Table 3 Factorial analysis/Word by cluster

Words	Dim.1	Dim.2	cluster	Words	Dim.1	Dim.2	cluster
ecological architecture	0,53	-0,26	1	ecological buildings	0,52	-0,84	1
architecture	0,22	0,1	1	ecological environments	1,23	0,69	1
ecology	0,67	-0,28	1	historic preservation	1,66	1,35	1
architectural design	-0,29	-0,03	1	intelligent buildings	-0,11	-0,12	1
sustainable development	0,37	-0,27	1	rural areas	0,46	-0,71	1
design	0,63	0,37	1	structural design	0,18	-1,2	1
energy efficiency	-0,76	0,07	1	sustainable architecture	-0,11	0,63	1
civil engineering	1,51	1,63	1	construction	-0,22	-0,55	1
building materials	1,66	1,62	1	construction industry	0,89	0,11	1
planning	1,23	-0,73	1	ecosystems	0,27	-0,73	1
urban planning	-0,11	-0,18	1	natural environments	1,5	0,02	1
housing	-0,24	-0,46	1	climatology	-0,46	-0,29	1
sustainability	-1,17	1,31	1	computer architecture	0,6	-1,4	1
building	-1,33	0,73	1	design method	-0,39	0,11	1
energy conservation	0,16	0,78	1	economic and social effects	0,71	-0,94	1
environmental protection	0,5	1,04	1	emission control	-1,08	0,41	1
conference proceeding	-1,34	0,59	1	green architectures	0,3	-0,72	1
buildings	0,36	-0,03	1	green building design	0,63	0,16	1
energy utilization	0,79	-0,19	1	technology	0,38	0,51	1
environmental impact	-1,22	0,69	1	basic concepts	1,47	-0,39	1
eco design	-0,03	-1,28	1	built environment	0,57	-1,3	1
houses	0,24	-0,29	1	construction equipment	2,3	3,35	1
ventilation	-1,07	0,37	1	eco architecture	-0,53	0,66	1
architecture designs	1,06	0,65	1	environmental management	-0,11	-0,1	1
climate change	-0,47	0,4	1	environmental pollutions	2,22	0,61	1

Research article

DOI:10.29132/ijpas.1365407

the Scopus database, and secondly, the results of scientific maps.

Promote energy efficiency, environmental awareness and responsibility towards the environment by incorporating ecological architecture and eco-architectural and interior practices into design. A better, sustainable future should be built by following sustainable design principles and reducing negative environmental impacts. Appropriate architectural and interior solutions should be designed by the team in collaboration with architects, employers and managers, maintaining a good balance of cost, environmental, social and human benefits. The originality of this article and its contribution to the fields of architecture, design, and planning are important in terms of contributing to ecological architecture research, undergraduate and graduate education courses and curricula, seeing the trend of existing studies, and providing ideas about concepts. Additionally, although bibliometric analysis studies in the field of architecture have increased in other scientific fields in recent years, they are limited in number in the field of architecture. This study will increase the visibility of the scientific mapping method. As a recommendation to researchers, the scientific mapping method SciMat, Citespace, or VOSviewer software can be used.

Finally, the concepts that stand out in the publications are ecology, sustainable architecture, architectural design, environment, green building, design, energy efficiency, architecture design, green architecture, experimental simulation, sustainable design, landscape, nature, sustainable design, thermal design, architectural education, climate change, construction, and ecological architecture design. It provides a conceptual foundation for future research in the fields of ecology and architecture. It is advisable to consider conducting research in alternative databases at various intervals over the years.

CONFLICT OF INTEREST

The authors report no conflict of interest relevant to this article.

RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The authors declare that this study complies with research and publication ethics.

REFERENCES

- Aria, M. and Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of informetrics*, 11(4), 959-975.
- Ardiani, Y. M. (2022). Ecology and Architecture in the art of making an Aesthetics Artwork. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 998, No. 1, p. 012035). IOP Publishing.
- Beyhan, F. and Erbas, M. (2013). A Study on Green Roofs with the Examples from the World and Turkey. *Gazi University Journal of Science*, 26(2), 303-318.
- Bielek, B. and Bielek, M. (2012). Environmental Strategies for Design of Sustainable Buildings in Technique of Green Eco-Architecture. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 6(7), 892.
- Brebbia, C. A. and Pulselli, R. (Eds.). (2014). *Eco-Architecture V: Harmonisation between architecture and nature* (Vol. 142). Wit Press.
- Bicer, Z. O. P. (2016). Assessing the economic contribution of ecological architecture case study: Kayseri Kadir has stadium. *Open House International*, 41(1), 107-111.
- Canan, F., Korumaz, M. and Güleç, S. A. (2006). Vision evaluation of the students in architecture about sustainable architecture in a local context in Konya/Turkey. In *Proceedings of the 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, PLEA* (pp. 11785-11791).
- Chen, N. (2021). Research on ecological building and sustainable building development. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(3), 2998-3004.
- Costa Santos, Sandra, Klein, Gerald and Despang, Martin (2010) Educating ecological architecture - ecological educational architecture. In: *Eco-Architecture III. WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 3 . WIT Press, Southampton, UK, pp. 235-244.
- Crowther, R. L., (1990). "Ecologic Architecture", Butterworth Architecture Press, U.S.A.
- Danaci, H. M. and Kavas, K. R. (2016). Is your building, which is designed according to "Ecological Architecture", really ecological, *Ecology Environment and Conservation*. 22 (1). pp. (47-51).
- Durak, Ş. and Ayyıldız, S. (2023). A model trial for the ecological evaluation of the traditional rural houses: Case of Yalova. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(1), 85-102.
- El-Hitami, H., Mahall, M. and Serbest, A. (2023). An ecology of space. Architectural design for transboundary relationships. *AGATHÓN| International Journal of Architecture, Art and Design*, 13, 153-164.
- Eyüce, A. (2007). Learning from the vernacular: sustainable planning and design. *Open House International*, 32(4), 9-22.

Research article

DOI:10.29132/ijpas.1365407

- Garcia, D. A., Cumo, F., Giustini, F., Pennacchia, E. and Fogheri, A. M. (2014). Eco-architecture and sustainable mobility: An integrated approach in Ladispoli town. *WIT Transactions on the Built Environment*, 142, 59-68.
- Gupta, V. (2012). *ECO Architecture*. *Architecture+ Design*, 29(1), 112.
- Hsiao, J. S., Perng, Y. H. and Shih, S. G. (2021). Discussion of critical factors in sustainably ecological architecture design. *Journal of environmental protection and ecology*, 22(1), 227-235.
- Ibrahim, I. (2010). Socio environmental impact in eco-architecture. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 128, 185-195.
- Konyuhov, V. Y., Gladkih, A. M., Galyautdinov, I. I. and Kiseleva, T. Y. (2019). Ecological architecture: The green roofs. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 350, No. 1, p. 012035). IOP Publishing.
- Krivenko, O., Pylypchuk, O., Avdieieva, N., Avdieieva, M. and Bieber, S. (2021, May). Biomimetic approaches to color formation in ecological architecture. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1150, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- Kwak, M. J., Hong, Y. S. and Cho, N. W. (2009). Eco-architecture analysis for end-of-life decision making. *International Journal of Production Research*, 47(22), 6233-6259.
- Lan, M. (2011). Create a harmonious environment together of ecological architecture design method. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 1774-1780.
- Lau, P. (2005). *Eco Architecture*. *Green Building Design: Experiences in Hong Kong and Shanghai*, 73.
- Lavrentyev, A., Burganova, M. and Fusu, L. (2022, October). Application of foresight technologies: On the example of development of actual ecological architecture. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2657, No. 1). AIP Publishing.
- Liao, C. W., Lin, J. H. and Chen, T. W. (2022). Research on a Framework for Sustainable Campus Eco-Architecture Selection: Taking a Taiwan High School as an Example. *Sustainability*, 14(10), 6265.
- Lucas, D. (2021). *Ecological buildings: new strategies for sustainable architecture*. Braun Publishing.
- Marangoni, M. and Mucci, M. (2023). Eco-architecture and Revolution: A critical review of the relationship between sustainability and architecture. *OFFICINA* Journal*, (40), 46-53.
- Muller, B. (2014). *Ecology and the architectural imagination*. Routledge.
- Olga, S., Zhandarbek, M., Temirkhan, Z. O., Khalil, M., Azamat, D., Kaldybay, A. and Makhabbat, K. (2022). Ecological Architecture in the Steppe Zone of Northern Kazakhstan. In *International Conference on Energy Engineering and Environmental Engineering* (pp. 297-307). Cham: Springer International Publishing.
- Porteous, C. (2013). *The new eco-architecture: alternatives from the modern movement*. Taylor & Francis.
- Pratiwi, E. I., Sudikno, A. and Kusdiwanggo, S. (2023). Ecological Rural Expressions of Eko Prawoto's Tectonic Architecture to Create Modern House Sustainability. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1169, No. 1, p. 012051). IOP Publishing.
- Sari, R. M., Sen, D. E. and Sagsöz, A. (2011). Reflection of Ecological Design Principles in the Example of Mass Housing in Turkey. *European Journal of Scientific Research*, 48(3), 381-398.
- Schröpfer, T. (2012). *Ecological urban architecture: qualitative approaches to sustainability*. Walter de Gruyter.
- Semenyuk, O., Abdrashitova, T., Belousova, E., Nechay, N., Listkov, V., Kurbatova, V. and Niyazbekova, S. (2018). The influence of ecology and economic factors on eco-architecture and the design of energy efficient buildings. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 16(2), 186-192.
- Semenyuk, O., Sadykova, S., Ernar, A., Belousova, E., Nechay, N., Listkov, V. and Jamankulova, B. (2017). The influence of the green economy on the development of eco-architecture. *World Trans. on Engng. And Technol. Educ*, 15(4), 349-354.
- Setiawan, D. (2020). Designing co-living housing with green and ecology architecture concept. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 426, No. 1, p. 012077). IOP Publishing.
- Sipahi, S. and Kulözü-Uzunboy, N. (2021). A study on reducing the carbon footprint of architectural buildings based on their materials under the guidance of eco-design strategies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23, 991-1005.
- Tönük, S. (2001). *Bina tasarımında ekoloji*. Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.
- Troiani, I. (2012). *Sci-fi Eco-Architecture: science fiction, sustainability and design studio*. *arq: Architectural Research Quarterly*, 16(4), 313-324.
- Uffelen, C. V. (2009). *Ecological Architecture*. *Architecture in Focus Series*. Braun Publishing.
- Williams, D. E. (2007). *Sustainable design: ecology, architecture, and planning*. John Wiley & Sons.
- Wu, Y. C., Yang, A. S., Tseng, L. Y. and Liu, C. L. (2011). Myth of ecological architecture designs: Comparison between design concept and computational analysis results of natural-ventilation for Tjibaou Cultural Center in New Caledonia. *Energy and buildings*, 43(10), 2788-2797.
- Zareba, A., Krzeminska, A., Kozik, R., Adynkiewicz-Piragas, M. and Kristiánová, K. (2022). Passive and

Research article

DOI:10.29132/ijpas.1365407

Active Solar Systems in Eco-Architecture and Eco-Urban Planning. *Applied Sciences*, 12(6), 3095.

Zhang, Y.(2023).Application of ecological architecture in architectural design based on information technology integration. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*,0(0)

<https://doi.org/10.2478/amns.2023.1.00327>

Detection of Android Based Applications with Traditional Metaheuristic Algorithms

Mehmet Şirin Beştaş^{1*}, Özlem Batur Dinler²

¹Siirt University, Siirt, Türkiye,

²Siirt University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Siirt, Türkiye

mehmetsirinbestas@gmail.com^{id}, *o.b.dinler@siirt.edu.tr^{id}

Received date:27.10.2023, Accepted date: 08.12.2023

Abstract

The widespread use of devices connected to Android systems in various areas of human life has made it an attractive target for bad actors. In this context, the development of mechanisms that can detect Android malware is among the most effective techniques to protect against various attacks. Feature selection is extremely to reduce the size of the dataset and improve computational efficiency while maintaining the accuracy of the performance model. Therefore, in this study, the five most widely used conventional metaheuristic algorithms for feature selection in the literature, such as Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), Simulated Annealing (SA), Ant Colony Optimization (ACO) and Differential Evolution (DE), was used to select features that best represent benign and malicious applications on Android. The efficiency of these algorithms was evaluated on the Drebin-215 and MalGenome-215 dataset using five different machine learning (ML) method including Decision Tree (DT), K-Nearest Neighbour (KNN), Naive Bayes (NB), Random Forest (RF) and Support Vector Machine (SVM). According to the results obtained from the experiments, DE-based feature selection and RF classifier are found to have better accuracy. According to the findings obtained from the experiments, it was seen that DE-based feature selection and RF method had better accuracy rate.

Keywords: Android, feature selection, malware detection, metaheuristic algorithms, optimization

Geleneksel Metasezgisel Algoritmalar ile Android Tabanlı Uygulamaların Tespiti

Öz

Android sistemlere bağlı cihazların insan yaşamının çeşitli alanlarında yaygın olarak kullanılması, onu kötü aktörler için cazip bir hedef haline getirmiştir. Bu bağlamda, Android zararlı yazılımları tespit edebilen mekanizmaların geliştirilmesi, çeşitli saldırılara karşı korunmada en etkili teknikler arasında yer almaktadır. Özellik seçimi, performans modelinin doğruluğunu korurken veri kümesinin boyutunu azaltmak ve hesaplama verimliliğini artırmak için son derece önemlidir. Bu nedenle, bu çalışmada Genetik Algoritma (GA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Tavlama Simülasyonu (SA), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO) ve Diferansiyel Evrim (DE) gibi literatürde özellik seçimi için en yaygın kullanılan beş klasik meta-sezgisel algoritma, Android'deki iyi huylu ve kötü amaçlı uygulamaları en iyi temsil eden özellikleri seçmek için kullanılmıştır. Bu algoritmaların verimliliği Drebin-215 ve MalGenome-215 veri seti üzerinde Karar Ağacı (DT), K-En Yakın Komşu (KNN), Naive Bayes (NB), Rastgele Orman (RF) ve Destek Vektör Makinesi (SVM) olmak üzere beş farklı makine öğrenme (ML) yöntemi kullanılarak değerlendirildi. Deneylerden elde edilen bulgulara göre, DE tabanlı özellik seçimi ve RF yönteminin daha iyi doğruluk oranına sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Android, özellik seçimi, zararlı yazılım tespiti, meta-sezgisel algoritmalar, optimizasyon

INTRODUCTION

Android is widely regarded as one of the most prevalent operating systems utilised in a variety of smart devices like smartphones, tablets, smartwatches, and other mobile devices (Masum and Shahriar, 2019). Android is widely favoured by a significant portion of global users due to its attributes of being cost-effective, user-friendly, easily accessible, and open source (Islam et al., 2023). As of June 2023, the Android operating system has had a dominant market share of 70.8% (Statista, 2023). However, despite the global significance of the pervasive use and popularity of the Android platform, the number of cyber security attacks against Android devices has increased rapidly. As a result, the security of Android-based devices is regarded as an essential research topic (Chakravarthy, 2021).

Android malware is a malicious application that accesses sensitive data without the user's knowledge or does actions that the user has not authorised (Albakri et al., 2023). Attackers subject users to a range of attacks pertaining to the domains of reliability, finances, and business processes and operations. These attacks encompass the exposing of personal data and privacy, the theft of identification and credit card information, as well as the manipulation of device functionality such as device locking, displaying advertisements, and unauthorised utilization of device resources (Senanayake et al., 2021). In order to mitigate the risks posed by these attacks, a range of effective security measures have been implemented. These measures include the utilization of firewalls, antivirus software, encryption protocols for safeguarding sensitive information, the implementation of biometric authentication systems for user verification, and the construction of dedicated teams specialising in malware analysis (Tahtacı and Canbay, 2020). On the other hand, the security mechanism of Android, which is reliant on permissions, and the insufficient security scanning (Dağlıoğlu and Doğru, 2019) conducted by Google, persistently contribute to the proliferation of malware (Albakri et al., 2023). Hence, the development of a contemporary, rapid, proficient detection system capable of discerning between legitimate software and malicious apps is of utmost significance.

Feature selection (FS) refers to the task of identifying the most optimal subset from the original feature collection in order to achieve the highest accuracy in prediction (Şahin, 2022; Akinola et al.,

2022). Consequently, FS is regarded as an NP-hard optimization problem. Its objective function primarily relies on two elements. Minimising the number of features while maintaining maximal classification precision (Kareem, 2022). Since the 1970s numerous feature selection algorithms have been proposed to acquire the most informative subsets that yield superior results. Metaheuristic algorithms are prevalent in the domain of feature selection (Dokeroglu et al., 2022). These algorithms are highly effective and efficient at locating the optimal subset of a dataset. This work primarily emphasises the application of metaheuristic algorithms in addressing feature selection difficulties, owing to their robustness and efficacy (Akinola et al., 2022). Nevertheless, it is important to note that not all algorithms exhibit comparable effectiveness when it comes to tackling various problems. Additionally, it is important to note that every algorithm possesses its own set of constraints (Niyomubyeyi et al., 2020). Therefore, a substantial contribution to the literature can be made by comparing the efficacy of metaheuristic algorithms with statistical analyses.

The study proposes a methodology that centres on wrapper-based feature selection techniques in order to ascertain the significant aspects for the purpose of detecting Android malware. The wrapper techniques involve evaluating the performance of different subsets of features and integrating a metaheuristic algorithm with a classifier. In recent years, many researchers have worked on various metaheuristic algorithms in the field of feature selection to improve performance and efficiency in Android malware detection. However, there is no comparative study that considers the metaheuristic algorithms proposed in this study together. The proposed methodology involved the utilization of metaheuristic algorithms to pick the most appropriate feature set for representing the data related to Android-based malware. Subsequently, machine learning techniques were employed to detect instances of Android malware by using the selected features.

This study provides the following contributions to the literature:

- This paper presents a comparative study of widely used conventional metaheuristic algorithms and ML methods in Android malware detection problems.

- The results provide a comprehensive view of how each algorithm performs in detecting Android malware in various scenarios based on two different datasets (Drebin-215 and MalGenome-215) and two different (the dataset is split into 70:30 and 10-fold cross) experimental validation applications.

The article's structure comprises the following sections: The focus of Section 2 is on related works. Section 3 includes the Material and Methods. Section 4 consists of the experimental results and discussion. Section 5 contains the conclusion.

LITERATURE REVIEW

Lee et al. (2021), uses permissions and API calls and tries GA in the feature selection process. The features are subsequently passed to various ML algorithms, including J48, DT, RF, and NB. Using 6000 Android samples in total, the highest achieved accuracy was approximately 97%. Wang et al. (2021), proposed a novel genetic algorithm-based approach for the detection of Android malware. The proposed algorithm is evaluated against the existing genetic algorithm using the UCI dataset. The SV-GA achieves a level of accuracy of 93.6%. Meimandi et al. (2020) demonstrated enhanced performance by integrating the GA and SA techniques with a classification method. Fatima et al. (2019) aimed to validate the performance of SVM and neural networks using a GA approach. Waleed (2019) introduced a method for enhancing SVMs with evolutionary boundary algorithms in order to improve Android malware detection. The optimisation issues were resolved by means of PSO and GA tools which served to improve the performance of the SVM and enhance the accuracy of Android virus detection. Droid-HESVMPSO exhibited a testing accuracy of 96.0%, while Droid-HESVMGA achieved a value of 96.9%. Yildiz and Doğru, (2019) conducted a study in which they examined the Android permission. They employed a feature selection technique based on genetic algorithms and evaluated the performance of this approach using DT, NB, and SVM. Bhattacharya et al. (2019) employed the PSO metaheuristic algorithm as a method for selecting features in order to detect Android malware based on permission analysis. Ling et al. (2019) employed XGboost to detect certain properties, including permissions, intents, APIs, and smali files. They further enhanced the performance of the XGboost model by utilising an

ACO. Firdaus et al. (2018) proposed a method for detecting Android malware using genetic selection, which involved the application of a GA.

MATERIAL AND METHODS

The present work employed wrapper based metaheuristics feature selection techniques in order to improve the accuracy of Android malware detection. The Drebin-215 and MalGenome-215 datasets were employed for evaluating the proposed feature selection techniques. PSO, DE, SA, GA, and ACO are used to select important features from the relevant dataset. Then, the obtained feature sets were given as input to DT, KNN, NB, RF and SVM ML methods. For experimental validation, 70:30 (Model-1) and ten-fold cross-validation (Model-2) were applied to the relevant dataset to reveal the performance of the feature selection techniques used in the study. N represented the population size, while T represented the utmost number of iterations. Every algorithm was executed 30 times. Table 1 shows all of the parameters for each algorithm. The experiments were conducted on a Windows 10 Intel(R) Core (TM) i7-8565U CPU 1.80 GHz with 16.0 GB RAM and NVIDIA GeForce MX250 2GB GDDR5. The experiment was conducted using MATLAB R2018a (MathWorks, Natick, MA 01760-2098, USA).

Dataset

All studies were conducted using two datasets, namely Drebin-215 (Arp et al., 2014) and Malgenome-215 (Zhou and Jiang, 2012). There are 215 features in both datasets. The Drebin-215 dataset has 15,036 samples of apps, of which 9,476 are benign and the other 5,560 are malware. The MalGenome-215 dataset has a total of 3,799 application samples. Among these examples, 2,539 are classified as benign, while the remaining 1,260 are classified as malware. This dataset was obtained from the Android malware genome project.

Background of the Conventional Metaheuristic Algorithms

This section provides a concise overview of the conventional metaheuristic algorithms analysed in the present study. During the selection process for these metaheuristics, we prioritised the number of citations, promising results, computational performance, accuracy of prediction, and their primary contributions (Dokeroglu et al., 2022).

Ant Colony Optimization (ACO)

Ant Colony optimization is a metaheuristic approach that draws inspiration from the foraging behaviour of ants in order to address intricate optimization problems (Dorigo et al, 2006). The algorithm employed in this study is rooted on communication-based strategies utilised by ants to establish trail markers and identify optimal pathways.

Differential Evolution (DE)

Differential Evolution is an evolutionary optimization algorithm based on vectors (Storn and Price, 1997). The objective of this algorithm is to identify the optimal solution inside intricate and extensive solution spaces by employing a population-based methodology. DE minimises or maximises the functions that need to be optimised by generating new vectors from vector differences.

Genetic Algorithm (GA)

Genetic Algorithm is an optimization and search algorithm that operates by using the concepts of natural selection and genetic variation (Goldberg and Holland,1988). The objective of this method is to address intricate optimization problems using the emulation of biological evolution mechanisms. The GA employs genetic operators to evolve solution

candidates and facilitates the process of identifying the optimal solution.

Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization is a natural adaptive meta-heuristic algorithm inspired by the movement and cooperation behaviour of bird flocks (Kennedy and Eberhart, 1995). This algorithm aims to solve complex optimization problems by aiming to model the movement of particles and their strategies to find the best solution.

Simulated Annealing (SA)

Simulated Annealing is an optimization process that employs a heuristic approach, drawing inspiration from the thermal equilibrium states observed in physical systems (Van Laarhoven and Aarts,1987). Using energy functions, this algorithm attempts to solve complex optimization problems by approving or rejecting potential solution candidates. SA initially focuses on exploring the solution space with a high acceptance rate at elevated temperatures, but its objective is to ultimately identify superior solutions at lower temperatures.

Table 1. Algorithm parameter settings

PSO	DE	SA	GA	ACO
T = 100	T = 100	T = 100	T = 100	T = 100
N =100	N =100	N = 100	N =100	N =100
c ₁ = 2	cr = 0.9	c = 0.93	cr = 0.8	τ = 1
c ₂ = 2	f = 0.5	T ₀ = 100	mr = 0.01	eta = 1
α = 0.9				α = 1
				β = 0.1
				rho = 0.2

Background of the Machine Learning Methods

In this section, we provide a concise overview of the prevalent ML techniques employed by wrapper feature selection algorithms.

Decision Tree (DT)

The Decision Trees are a widely employed machine learning algorithm utilised for the purpose of solving classification and regression difficulties. The classification model is constructed using a tree structure via a technique called binary recursive

partitioning. It generates a tree consisting of decision nodes and leaf nodes, with decision nodes containing two or more branches and leaf nodes assigning a class or decision (Cihan et al., 2020).

k-Nearest Neighbour (KNN)

The k-Nearest Neighbour approach is a machine learning technique commonly employed in the context of classification and regression prediction problems. This approach is a classification method that relies on assessing the similarity between a new

sample to be categorised and previously labelled samples, depending on their distance (Dinler et al., 2021).

Naive Bayes (NB)

The Naive Bayes algorithm is a classification technique that operates on probabilities and is derived from Bayes' theorem. The classification of the test data in this algorithm is defined by its inclusion in the class set that yields the highest value, which is obtained by a sequence of probability calculations performed on the training set (Hailat et al., 2021).

Random Forest (RF)

The Random Forest approach is a commonly employed data mining model for addressing classification and regression challenges. This approach involves conducting training using decision trees that are generated by randomly training numerous distinct subsets. The ensemble of decision trees generated using this approach is commonly referred to as RF. In the context of this classification model, an unidentified test sample is allocated to a certain class based on the decision tree that possesses the highest value. One of the primary benefits associated with the RF model is its ability to effectively address issues related to overfitting and outliers (Ullah et al., 2021).

Support Vector Machine (SVM)

The Support Vector Machine algorithm is widely recognised as a robust and effective machine learning technique employed for the purpose of addressing classification and regression difficulties (Khan et al., 2023). The fundamental premise of this approach is to categorise the samples inside the feature space using a hyperplane. SVM projects features into high-dimensional space in order to identify the hyperplane that provides the most effective separation (Cihan, 2021).

Proposed Model

The proposed methodology for performing the experiments is given in Figure 1. Two datasets of Android applications Drebin-215 and Malgoneme-215 were used for training and testing purposes. To identify significant features, a random subsample of the relevant dataset is provided as input to the wrapper-based feature selection method in this study. In this method, five well-known traditional metaheuristic algorithms are used for feature selection. The selected features are then given as input to five different classification algorithms with two different validation options.

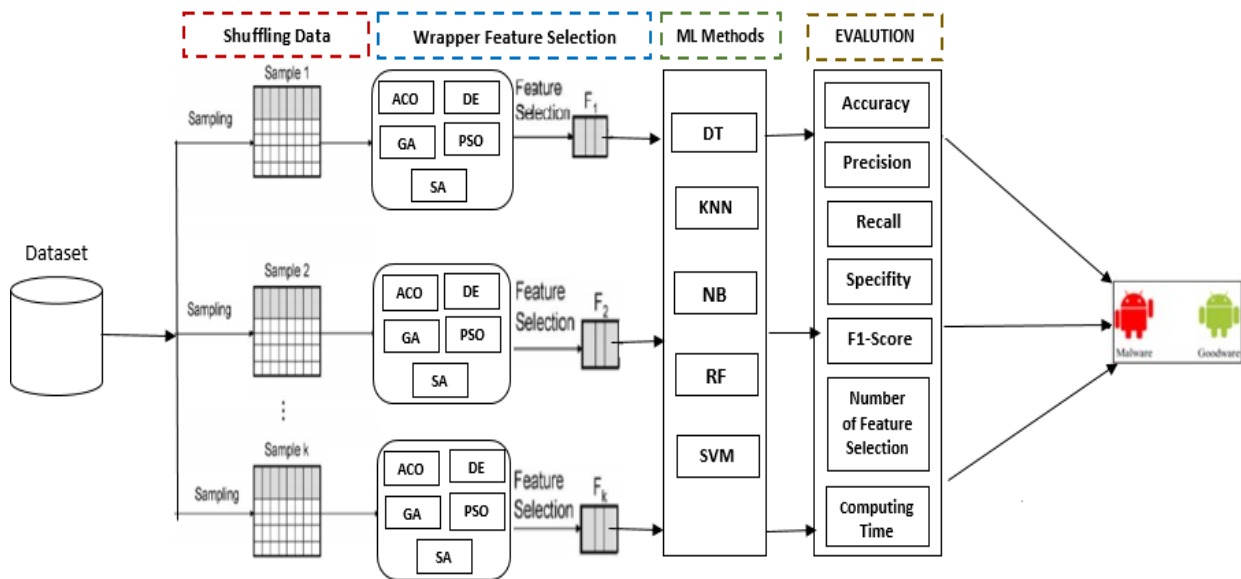


Figure 1. System architecture

RESULTS AND DISCUSSION

This section presents and discusses the experimental results.

Performance Measures

A range of evaluation approaches were employed to assess the efficacy of the Conventional Metaheuristic Algorithms. The aforementioned metrics are commonly employed to assess the performance of a classifier, encompassing measures such as accuracy, precision, recall, specificity, and F1-score Equation 1-5.

$$Accuracy (Acc) = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \quad (1)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} \quad (4)$$

$$F1 - Score = \frac{2*Precision*Recall}{Precision+Recall} \quad (5)$$

where TP , TN , FP , and FN are true positive, true negative, false positive, and false negative, respectively.

Average Accuracy (AVG_{Acc}): This metric is employed to compute the accuracy of data classification.

Due to the fact that each procedure is repeated 30 times ($r_t=30$), the average accuracy is computed as following Equation 6:

$$AVG_{Acc} = \frac{1}{r_t} \sum_{k=1}^{r_t} Acc_{Best}^k \quad (6)$$

Average Number of Features ($AVG_{|FS_{Best}|}$): This metric is employed to assess the efficacy of a technique in reducing the quantity of features throughout a certain number of iterations. Its computation is as following Equation 7:

$$AVG_{|FS_{Best}|} = \frac{1}{r_t} \sum_{k=1}^{r_t} |FS_{Best}^k| \quad (7)$$

Average Computation Time (AVG_{Ct}): This metric is utilised to determine the mean CPU time (s), as depicted in the following Equation 8:

$$AVG_{Ct} = \frac{1}{r_t} \sum_{k=1}^{r_t} Ct_{Best}^k \quad (8)$$

Experimental results and performance analysis were conducted using a training set including 70% of the dataset and a test set comprising 30% (Model -1). Additionally, a 10-fold cross-validation strategy (as Model -2) was employed. This study employed five distinct conventional metaheuristic algorithms (namely PSO, DE, SA, GA, and ACO) as feature extraction techniques. The algorithms were assessed using two widely recognised Android malware datasets and five ML classification techniques. The average accuracy, average precision, average recall, average specificity, average F1-Score, average number of selections, and average computational time are displayed in Tables 2 through 8 sequentially. The top results are highlighted in bold.

Table 2 illustrates a comparison of all algorithms' average accuracy results. When comparing several algorithms, it was found that the DE-based feature selection and RF classifier performed the best in two models (Model-1 and Model-2) on the Drebin-215 dataset. Additionally, in Model-2 on the MalGenome-215 dataset, it also earned the highest mean results. The second important indicator is that the average accuracy value of GA-based feature selection and KNN classifier outperforms other algorithms in Model-1 in the MalGenome-215 dataset.

Table 3 presents the mean precision values for all algorithms. The experimental findings demonstrate that the SVM has superiority in both datasets and models.

The average recall values for all algorithms are presented in Table 4. Experimental results show that DE and KNN are superior in Model -1 for Drebin-215 dataset and Model -2 for MalGenome-215 dataset. Moreover, DE and RF are superior in Model-2 for the Drebin-215 dataset and in Model-1 for the MalGenome-215 dataset.

Table 5 presents the mean specificity values. Based on the analysis of the outcomes, it can be inferred that the SVM classifier yielded the most favourable outcomes in both the Drebin-215 and MalGenome-215 datasets, as well as in the two models, namely Model-1 and Model-2, with respect to average specificity. When compared to other outcomes, DE with GA based feature selection in

Drebin-215 dataset for Model-1; DE based feature selection in Drebin-215 dataset for Model-1; PSO based feature selection in MalGenome-215 Model -1; and DE with ACO based feature selection in MalGenome-215 for Model -2 attained the highest average specificity.

The mean *F1 – Score* of the comparing all algorithms are presented in Table 6. For *F1 – Score* employed in this investigation, the DE-based feature selection and RF classifier produced the best results in two datasets (Drebin-215 and MalGenome-215) and two models (Model-1 and Model-2).

Table 7 presents the mean value of the chosen features. Based on an analysis of the findings presented in Table 7, it can be inferred that the feature selection technique based on GA demonstrated superior performance in terms of the average number of selected features. This was observed in two datasets, namely Drebin-215 and MalGenome-215, as well as in two models, specifically Model-1 and Model-2, which were utilised in the present study.

Table 8 presents the mean computational duration of the comparative methods. For Model -1 in both datasets, the GA based feature selection and DT classifier is the quickest and requires the least amount of processing effort. The PSO-based feature selection and NB classifier used to the Drebin-215 datasets, as well as the GA-based feature selection and NB

classifier employed for the MalGenome-215 dataset, exhibit the shortest computing time and highest speed when compared to alternative approaches for Model-2.

Table 2. The performance of the average accuracy (%) of all algorithms in Android detection datasets

	CMA	Drebin-215					MalGenome-215				
		DT	KNN	NB	RF	SVM	DT	KNN	NB	RF	SVM
Model -1	ACO	0.94639	0.97962	0.93337	0.98302	0.9372	0.97021	0.98311	0.95733	0.98657	0.94343
	DE	0.94722	0.98201	0.9324	0.98438	0.93159	0.97457	0.98718	0.96049	0.99064	0.92959
	GA	0.94542	0.98117	0.93098	0.98293	0.93159	0.96986	0.99071	0.95552	0.98721	0.9602
	PSO	0.94576	0.98035	0.93221	0.98168	0.94663	0.97275	0.98581	0.95435	0.98724	0.94267
	SA	0.94024	0.97524	0.97524	0.97962	0.94496	0.97006	0.98171	0.95195	0.98443	0.94496
Model -2	ACO	0.94701	0.98234	0.93337	0.98825	0.94763	0.97396	0.98665	0.95452	0.98874	0.94344
	DE	0.94635	0.984	0.9324	0.9898	0.93744	0.97684	0.98987	0.96067	0.99098	0.94321
	GA	0.94518	0.98379	0.93098	0.98428	0.9515	0.97476	0.98667	0.95498	0.98862	0.96564
	PSO	0.94212	0.98258	0.93221	0.98395	0.95276	0.97477	0.98684	0.95714	0.98873	0.95624
	SA	0.94131	0.97789	0.92639	0.98118	0.95333	0.97158	0.98507	0.95358	0.98763	0.94925

Table 3. The performance of the average precision (%) of all algorithms in Android detection datasets

	CMA	Drebin-215					MalGenome-215				
		DT	KNN	NB	RF	SVM	DT	KNN	NB	RF	SVM
Model -1	ACO	0.93346	0.97374	0.88875	0.98632	0.99881	0.95316	0.97653	0.92106	0.9881	0.99939
	DE	0.9384	0.97791	0.88494	0.98777	0.99911	0.95737	0.98177	0.92144	0.99182	0.99936
	GA	0.94097	0.97753	0.8974	0.9883	0.99911	0.95705	0.98132	0.93303	0.98667	0.99774
	PSO	0.94017	0.97638	0.89775	0.98677	0.99814	0.95708	0.97951	0.92348	0.98726	0.99989
	SA	0.93782	0.96817	0.88116	0.98291	0.99673	0.95702	0.97265	0.91322	0.98802	0.99673
Model -2	ACO	0.93607	0.97721	0.88875	0.98904	0.99826	0.99154	0.98168	0.9205	0.98921	0.99965
	DE	0.93578	0.97978	0.88494	0.99195	0.99959	0.99469	0.98635	0.92346	0.99322	0.99964
	GA	0.94009	0.98071	0.8974	0.9879	0.99875	0.98771	0.98209	0.93141	0.98788	0.9981
	PSO	0.93365	0.97859	0.89775	0.98799	0.99804	0.98983	0.98191	0.92482	0.98998	0.99916
	SA	0.93716	0.9716	0.88195	0.98475	0.99649	0.96195	0.97852	0.91598	0.98951	0.99944

Table 4. The performance of the average recall (%) of all algorithms in Android detection datasets

	CMA	Drebin-215					MalGenome-215				
		DT	KNN	NB	RF	SVM	DT	KNN	NB	RF	SVM
Model -1	ACO	0.92108	0.9711	0.93736	0.96753	0.8312	0.95767	0.97257	0.95406	0.97125	0.83007
	DE	0.91807	0.97336	0.93963	0.96976	0.81577	0.96667	0.97963	0.96323	0.97989	0.78836
	GA	0.90987	0.97144	0.9188	0.96528	0.81577	0.95212	0.97743	0.93307	0.97469	0.8821
	PSO	0.91233	0.9704	0.92197	0.96339	0.85731	0.96129	0.97778	0.94065	0.97416	0.82734
	SA	0.89875	0.96481	0.92144	0.96165	0.854	0.95282	0.97231	0.94577	0.96481	0.854
Model -2	ACO	0.91986	0.97498	0.93736	0.9754	0.85989	0.92942	0.97802	0.94489	0.97672	0.82976
	DE	0.91829	0.9769	0.93963	0.97718	0.83116	0.93516	0.9831	0.96127	0.9795	0.82907
	GA	0.90983	0.97536	0.9188	0.96936	0.86993	0.93556	0.97768	0.93317	0.9777	0.89812
	PSO	0.90874	0.97423	0.92197	0.96836	0.87398	0.93354	0.97837	0.94807	0.97593	0.86881
	SA	0.90255	0.96853	0.92505	0.96404	0.8769	0.95212	0.97643	0.9473	0.97302	0.84746

Table 5. The performance of the average specificity (%) of all algorithms in Android detection datasets

	CMA	Drebin-215					MalGenome-215				
		DT	KNN	NB	RF	SVM	DT	KNN	NB	RF	SVM
Model -1	ACO	0.96124	0.98461	0.93102	0.99212	0.99941	0.97643	0.98835	0.95896	0.99417	0.99974
	DE	0.96433	0.98709	0.92816	0.99295	0.99957	0.97849	0.99093	0.95913	0.99597	0.99974
	GA	0.96628	0.98688	0.93812	0.99328	0.99957	0.97867	0.99071	0.96667	0.99343	0.99899
	PSO	0.96538	0.9862	0.93821	0.99241	0.99905	0.97845	0.98979	0.96115	0.99374	0.99996
	SA	0.96459	0.98136	0.92655	0.99017	0.99834	0.97862	0.98638	0.95502	0.99417	0.99834
Model -2	ACO	0.96294	0.98665	0.93102	0.99463	0.99911	0.99606	0.99093	0.93233	0.99471	0.99985
	DE	0.96282	0.98817	0.92816	0.99606	0.9998	0.99752	0.99324	0.96036	0.99668	0.99985
	GA	0.96592	0.98874	0.93812	0.99304	0.99936	0.99421	0.99114	0.9658	0.99404	0.99915
	PSO	0.96171	0.98749	0.93821	0.99309	0.99899	0.99523	0.99104	0.96164	0.99509	0.99963
	SA	0.96404	0.98338	0.92718	0.99124	0.99818	0.98124	0.98935	0.95669	0.99488	0.99976

Table 6. The performance of the average F1-score (%) of all algorithms in Android detection datasets

	CMA	Drebin-215					MalGenome-215				
		DT	KNN	NB	RF	SVM	DT	KNN	NB	RF	SVM
Model -1	ACO	0.92702	0.97241	0.91234	0.97682	0.90716	0.95526	0.97983	0.937	0.97957	0.90647
	DE	0.92785	0.97562	0.91139	0.97868	0.89812	0.96192	0.98067	0.9418	0.98578	0.88114
	GA	0.92494	0.97446	0.90777	0.97665	0.89812	0.95446	0.97932	0.93297	0.9806	0.93619
	PSO	0.92553	0.97336	0.9096	0.97493	0.92224	0.95906	0.97861	0.93183	0.98064	0.90521
	SA	0.91748	0.96647	0.90047	0.97215	0.91974	0.95478	0.97243	0.92895	0.97624	0.91974
Model -2	ACO	0.92773	0.97609	0.91234	0.98216	0.92381	0.95945	0.97983	0.93233	0.98292	0.90674
	DE	0.92676	0.97834	0.91139	0.98451	0.90761	0.96399	0.98471	0.94191	0.9863	0.90633
	GA	0.92465	0.97802	0.90777	0.97854	0.92987	0.9609	0.97987	0.93218	0.96129	0.94536
	PSO	0.92065	0.9764	0.9096	0.97808	0.93185	0.96084	0.98012	0.93621	0.98289	0.92936
	SA	0.91916	0.97005	0.90287	0.97428	0.93283	0.95695	0.97747	0.93124	0.98119	0.91713

Table 7. The performance of the average the number of selection of all algorithms in Android detection datasets

	CMA	Drebin-215					MalGenome-215				
		DT	KNN	NB	RF	SVM	DT	KNN	NB	RF	SVM
Model -1	ACO	141.866	139.5	135.454	134.2	128.8	96.3	92.033	110.833	105.033	102.466
	DE	155.8	156.8	159.454	156.966	156.866	147.1	146.066	150.5	149.066	141.7
	GA	102.6	86.266	89.545	87.545	156.866	45.033	44.166	43.766	43.7	45.133
	PSO	103.5	100.666	98.733	98.5	100.769	80.6	80.433	80.066	81.666	106
	SA	111.411	112.3	107.733	110.133	111.411	107.1	107.3	109.333	107.233	111.411
Model -2	ACO	102.428	139.5	135.454	113.375	122.363	105.6	102.366	104.8	103.866	131.375
	DE	154.437	156.8	159.454	126.25	160.818	145.733	148.166	150.6	146.366	133.5
	GA	84.8571	86.266	89.5455	86.090	86.2667	43.7667	67.625	45.733	45.2333	45.133
	PSO	101.357	100.666	98.733	102.454	100.666	79.733	101	86.633	79.466	79.266
	SA	107.366	112.033	112.3	109.733	108.266	106.233	108.766	108.933	106.933	106.966

Table 8. The performance of the average computational time (sec) of all algorithms in Android detection datasets

	CMA	Drebin-215 -215					MalGenome-215 -215				
		DT	KNN	NB	RF	SVM	DT	KNN	NB	RF	SVM
Model -1	ACO	0.13026	0.13659	0.47612	0.65864	1.5592	0.01862	0.03057	0.02187	0.2052	0.38998
	DE	0.1126	0.13026	0.50467	0.67379	1.3738	0.02205	0.02779	0.02614	0.21755	0.32752
	GA	0.04144	0.09715	0.37099	0.6338	1.7092	0.01164	0.02653	0.01635	0.17633	0.3655
	PSO	0.04161	0.107	0.35276	0.62313	2.4899	0.01470	0.02676	0.01848	0.19593	0.42445
	SA	0.0619	1.2369	0.05483	0.57432	4.3565	0.02139	0.05212	0.03296	0.15981	2.5294
Model -2	ACO	0.45712	2.628	0.47612	1.5684	1.5007	7.2624	0.26941	0.15259	1.8842	2.698
	DE	0.88607	1.5989	0.50467	1.5899	1.0723	8.1392	0.31717	0.16622	2.0189	2.6978
	GA	0.36529	1.1871	0.37099	1.5114	1.0109	6.0411	0.16524	0.11991	0.96129	2.2608
	PSO	0.50274	1.6035	0.35276	1.4924	1.5029	6.9175	0.21679	0.13789	1.7848	2.7103
	SA	0.5135	3.1926	0.39199	6.0261	24.5547	0.14551	0.22721	0.15286	1.5579	2.5168

Results of the Performance Analysis of the Datasets

According to the experimental results in Table 2, Drebin-215 and Malgoneme-215 datasets have the highest accuracy rate with 98.98% and 99.09% respectively with the combination depending on DE+RF+Model-2. In addition, in Tables 3-8 it is observed that the Drebin-215 and Malgoneme-215 DE+RF+Model-2 technique offers an AVG_{Pr} of 99.19%, AVG_{RC} of 97.71%, AVG_{Sp} of 99.60%, AVG_F of 98.45%, $AVG_{|FS_{Best}|}$ of 126.25 and AVG_{Ct} of 1.5899; AVG_{Pr} of 99.32%, AVG_{RC} of 97.95%, AVG_{Sp} of 99.66%, AVG_F of 98.63%, $AVG_{|FS_{Best}|}$ 146.3 of and AVG_{Ct} of 2.018, respectively.

The second highest accuracy is the combination of RF+Model-2 with ACO for the Drebin-215 dataset and KNN+Model-1 with GA for the Malgoneme-215 dataset.

Results of the Performance Analysis of the Models

According to the experimental results in Table 2-8, Model-2 has the highest accuracy, specificity, and F1-Score for the two datasets, while Model-1 has the highest precision and specificity for the two datasets. In addition, it is seen that Model-1 generally takes less number of features and less computation time than Model-2.

Results of the Performance Analysis of the ML Methods

Upon analysing the findings of the Drebin-215 and Malgoneme-215 datasets, it is observed that the performance of DT, KNN, NB, RF, and SVM algorithms exhibits both enhancements and declines.

CONCLUSION

This study aims to build a method for detecting Android malware by utilising a comprehensive set of criteria to determine the malicious or benign nature of an Android application. The identification and mitigation of Android malware has emerged as a significant issue, including not just individual users but also business entities and governmental organisations.

This study aims to explore the performance and usefulness of conventional metaheuristic algorithms, which are commonly employed, in addressing the challenge of identifying Android malware. The evaluation of the outcomes was conducted by

employing diverse performance metrics for each method, including but not limited to the accuracy, precision, recall, specificity, F1-Score, number of selections, and computational time. It is evident that studies conducted in this particular domain will yield substantial contributions towards addressing challenges across several disciplines. Further studies will investigate the performance and effectiveness of the most widely used recent metaheuristic algorithms in solving the Android malware detection problem.

CONFLICT OF INTEREST

There is no conflict of interest for authorship.

RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

This manuscript does not contain any studies with human participants carried out by any of the authors.

REFERENCES

- Akinola, O.O., Ezugwu, A.E., Agushaka, J. O., Zitar, R. A. and Abualigah, L. (2022). Multiclass feature selection with metaheuristic optimization algorithms: a review. *Neural Computing and Applications*, 34 (22), 19751–19790.
- Albakri, A., Alhayan, F., Alturki, N., Ahamed, S. and Shamsudheen, S. (2023). Metaheuristics with deep learning model for cybersecurity and Android malware detection and classification. *Applied Sciences*, 13 (4), 2172.
- Arp D., Spreitzenbarth, M., Hubner, M., Gascon, H., Rieck, K. and Siemens, C.E.R.T. (2014). Drebin: Effective and explainable detection of android malware in your pocket. In *Ndss*, (14), 23-26. Available from: <http://www.deeplearningbook.org>. (Accessed on 1 November 2022).
- Bhattacharya, A., Goswami, R.T. and Mukherjee, K. (2019). A feature selection technique based on rough set and improvised PSO algorithm (PSORS-FS) for permission based detection of Android malwares. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, (10), 1893–1907.
- Chakravarthy, S. J. (2021). Wrapper-based metaheuristic optimization algorithms for android malware detection: a correlative analysis of firefly, bat & whale optimization. *Journal of Hunan University (Natural Sciences)*, 48 (10), 928-943.
- Cihan, P. (2021). The machine learning approach for predicting the number of intensive car, intubated patients and death: The COVID-19 pandemic in Turkey. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, (40) 1, 85-94.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1382344

- Cihan, P., Kalıpsız O. and Gökçe, E. (2020). Computer-aided diagnosis in neonatal lambs. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 26 (2), 385-391.
- Dağlıoğlu, A. and Doğru, I.A. (2020). Android işletim sisteminde kötüçül yazılım tespit sistemleri. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Dergisi, 2 (11), 499-511.
- Dinler, Ö.B. and Şahin, C.B. (2021). Prediction of phishing web sites with deep learning using WEKA environment. European Journal of Science and Technology, (24), 35-41.
- Dokeroglu, T., Deniz, A. and Kiziloz, H.E. (2022). A comprehensive survey on recent metaheuristics for feature Selection. Neurocomputing, (494), 269-296.
- Dorigo, M., Birattari, M. and Stutzle, T. (2006). Ant colony optimization. IEEE Computational Intelligence Magazine, 1 (4), 28-39.
- Fatima, A., Maurya R., Dutta M.K., Burget R. and Masek, J. (2019). Android malware detection using genetic algorithm based optimized feature selection and machine learning. In Proceedings of the 2019 42nd International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), 220–223.
- Firdaus, A., Anuar, N. B., Karim, A. and Razak, M. F. A. (2018). Discovering optimal features using static analysis and a genetic search based method for Android malware detection. Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 19 (6), 712-736.
- Goldberg, D. E. and Holland, J. H. (1988). Machine Learning. Machine Learning, 3 (23), 95-99.
- Hailat, M. M., Otair, M. A., Abualigah, L., Houssein, E. H. and Şahin, C.B. (2021). Improving automated arabic essay questions grading based on microsoft word dictionary. Deep learning approaches for spoken and natural language processing.
- Islam, R., Sayed, M.I., Saha, S., Hossain, M.J. and Masud, M.A. (2023). Android malware classification using optimum feature selection and ensemble machine learning. Internet of Things and Cyber-Physical Systems, (3), 100-111.
- Kareem, S. S., Mostafa, R. R., Hashim, F. A. and El-Bakry, H. M. (2022). An effective feature selection model using hybrid metaheuristic algorithms for iot intrusion detection. Sensors, 22 (4), 1396.
- Kennedy, J. and Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. In Proceedings of ICNN'95-International Conference on Neural Networks, IEEE, 1942-1948.
- Khan, S.N., Khan S.U., Aznaoui H., Şahin, C.B. and Dinler, Ö.B. (2023). Generalization of linear and non-linear support vector machine in multiple fields: a review. Computer Science and Information Technologies, 3(4), 226-239
- Lee, J., Jang, H., Ha, S. and Yoon, Y. (2021). Android malware detection using machine learning with feature selection based on the Genetic algorithm. Mathematics, (9), 2813.
- Ling, J., Wang, X. and Sun, Y. (2019). Research of android malware detection based on ACO optimized Xgboost parameters approach. In 3rd International Conference on Mechatronics Engineering and Information Technology (ICMEIT), 364-371.
- Masum, M. and Shahriar, H. (2019). Droid-NNet: Deep learning neural network for android malware detection. In 2019 IEEE International Conference on Big Data, IEEE, 5789-5793.
- Meimandi, A., Seyfari, Y. and Lotfi, S. (2020). Android malware detection using feature selection with hybrid genetic algorithm and simulated annealing. In Proceedings of the 2020 IEEE 5th Conference on In Electrical and Computer Engineering (Etech) Information and Communication Technology (ICT),1- 7.
- Niyombyeyi, O., Sicuaio, T. E., Díaz González, J. I., Pilesjö, P. and Mansourian, A. (2020). A comparative study of four metaheuristic algorithms, AMOSA, MOABC, MSPSO, and NSGA-II for evacuation planning. Algorithms, 13 (1), 16.
- Senanayake, J., Kalutarage, H. and Al-Kadri, M. O. (2021). Android mobile malware detection using machine learning: A systematic review. Electronics, 10(13), 1606.
- Statista Research Department (2023). Statista. Available from: <https://www.statista.com/statistics/272698/global-market-share-held-by-mobile-operating-systems-since-2009/>. (Accessed on 1 November 2022).
- Storn, R. and Price, K. (1997). Differential Evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. Journal of Global Optimization, (11), 341-359.
- Şahin, B.C. (2022). Learning optimized patterns of software vulnerabilities with the clock-work memory mechanism. European Journal of Science and Technology, (41), 156-165.
- Tahtacı, B. and Canbay, B. (2020). Android malware detection using machine learning. Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU), 1-6.
- Ullah, A., Şahin, B.C., Dinler, Ö.B., Khan, M.H., and Aznaoui, H. (2021). Heart disease prediction using various machines learning approach. Journal of Cardiovascular Disease Research, 3(12), 379-391.
- Van Laarhoven, P.J. and Aarts, E.H. (1987). Simulated Annealing. Springer Netherlands, 7-15.
- Waleed, A. (2019). Hybrid intelligent Android malware detection using evolving support vector machine based on genetic algorithm and particle swarm optimization. IJCSNS International Journal of

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1382344

Computer Science and Network Security, 9 (19), 15-28.

- Wang, L., Gao, Y., Gao, S. and Yong, X. (2021). A new feature selection method based on a self-variant genetic algorithm applied to android malware detection. *Symmetry*, 13 (7), 1290.
- Yerima, S. Y. and Sezer, S. (2018). Droidfusion: A novel multilevel classifier fusion approach for android malware detection. *IEEE transactions on cybernetics*, 49 (2), 453-466.
- Yildiz, O. and Doğru, I.A. (2019). Permission-based android malware detection system using feature selection with genetic algorithm. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 29 (2), 245–262.
- Zhou, Y. and Jiang, X. (2012). Dissecting android malware: characterization and evolution. In 2012 IEEE symposium on security and privacy, IEEE, 95-109. Available from: <http://www.deeplearningbook.org> (Accessed on 1 November 2022).




Arf Numerical Semigroups with Multiplicity 8

Meral Süer^{1*}, Halil İbrahim Karakaş², Sedat İlhan³

¹Batman University, Faculty of Science and Letters, Department of Mathematics, Batman, Türkiye

²Baskent University, Faculty of Commercial Science, Department of Banking and Finance, Ankara, Türkiye

³Dicle University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Diyarbakır, Türkiye

*meral.suer@batman.edu.tr , karakas@baskent.edu.tr , sedati@dicle.edu.tr 

Received date:11.07.2023, Accepted date:23.11.2023

Abstract

In this study, we present a description of Arf numerical semigroups with multiplicity eight and given conductor.

Keywords: Arf numerical semigroups, conductor, embedding dimension, Frobenius number, multiplicity, numerical semigroups.

Katlılığı 8 Olan Arf Sayısal Yarıgrupları

Öz

Bu çalışmada, belirli ileticili ve katlılığı sekiz olan Arf sayısal yarı gruplarının tanımlamasını sunuyoruz.

Anahtar Kelimeler: Arf sayısal yarıgrupları, iletici, gömme boyutu, Frobenius sayısı, katlılık, sayısal yarıgruplar.

INTRODUCTION

A numerical semigroup S is a subset of $\mathbb{N} = \mathbb{Z}^+ \cup \{0\}$ such that S is closed under addition, $0 \in S$ and $\mathbb{N} \setminus S$ is finite (i.e. S has finite complement in \mathbb{N}). It is known that every numerical semigroup S is finitely generated; that is, there exist some elements $u_1, \dots, u_p \in S$ ($p \in \mathbb{Z}^+$) such that $S = \langle u_1, \dots, u_p \rangle = u_1\mathbb{N} + \dots + u_p\mathbb{N}$ (Barucci, Dobbs and Fontana, 1997; Fröberg, Gottlieb and Häggkvist, 1987; Rosales and García-Sánchez, 2009). Moreover, $\gcd\{u_1, \dots, u_p\} = 1$ since this is equivalent to that the semigroup S has a finite complement in \mathbb{N} where \gcd the abbreviation for the greatest common divisor (Fröberg et al., 1987).

The set $A = \{u_1, \dots, u_p\}$ is called the minimal system of generators for any semigroup S , if $S = \langle A \rangle$ and no proper subset A generates S . It is known that every numerical semigroup S has a unique minimal system of generators and the cardinality of the minimal system of generators of S is called the embedding dimension of S , denoted by $e(S)$. The least positive integer in S is called the multiplicity of S , denoted by $m(S)$. It is known that the minimal system of generators of S must contain $m(S)$, and that

$e(S) \leq m(S)$ (García -Sánchez, Heredia, Karakaş, and Rosales, 2017; İlhan and Süer, 2017). Moreover, a numerical semigroup S is a numerical semigroup of maximal embedding dimension if $e(S) = m(S)$. Another notable element of a numerical semigroup is the ratio. The ratio of S , denoted by $R(S)$ (in short R), is defined as the least positive integer greater than the multiplicity of S in the minimal system of generators of S .

The greatest integer not in S is known as the Frobenius number of S , denoted by $F(S)$, through in the literature it is sometimes replaced by the conductor of S , denoted by $C(S)$ (in short C which is the least integer x such that $x + n \in S$ for all $n \in \mathbb{N}$). It is easy to see that $F(S) = C - 1$. If S is different from \mathbb{N} , it is traditional to denote the elements of S that are less than or equal to C by $s_0 = 0, s_1, \dots, s_{n-1}, s_n = C$ with $s_{i-1} < s_i$ for each $1 \leq i \leq n$, and write

$$S = \{s_0 = 0, s_1, \dots, s_{n-1}, s_n = C, \rightarrow\}$$

where “ \rightarrow ” means that every integer greater than C belongs to the set. The elements $s_0 = 0, s_1, \dots, s_{n-1}$ are called the small elements of S . Note that the first non-zero small element is $s_1 = m(S)$, the multiplicity

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.1324404

of S , and $n = n(S) = |S \cap \{0, 1, \dots, F(S)\}|$ is the number of small elements of S ($|A|$ denotes the cardinality of any set A).

If S is a numerical semigroup and $a \in S \setminus \{0\}$, the Apéry set of S with respect to a is the set $Ap(S, a) = \{s \in S : s - a \notin S\}$. It is easy to see that $Ap(S, a) = \{w_0 = 0, w_1, \dots, w_{a-1}\}$ where w_i is the least element of S such that $w_i \equiv i \pmod{a}$ for each $1 \leq i \leq a - 1$. Moreover, $(Ap(S, a) \setminus \{0\}) \cup \{a\}$ generates S and $\max(Ap(S, a)) = F(S) + a = C(S) + a - 1$ for any $ka \in S \setminus \{0\}$ (Rosales, 2005; Rosales and García-Sánchez, 2009). Thus, if S is a numerical semigroup with multiplicity m , then S has maximal embedding dimension if and only if $(Ap(S, m) \setminus \{0\}) \cup \{m\}$ is the minimal system of generators for S .

Arf Numerical Semigroups

A numerical semigroup S is called Arf if $x + y - z \in S$ for all $x, y, z \in S$ where $x \geq y \geq z$. This definition was first given by C. Arf in 1949, and therefore, the condition in this definition is known as the Arf condition. For all $x, y, z \in S$ such that $x \geq y \geq z$ and $x \geq C$, clearly $x + y - z \geq C$ and so $x + y - z \in S$. Therefore, to check if a numerical semigroup is Arf, it is enough to check the Arf condition for only the small elements. There are many equivalent conditions to the Arf condition, one of them is specified as “a numerical semigroup is Arf if and only if $2x - y \in S$ where $x \geq y$ ” (García-Sánchez at al., 2017).

Any Arf numerical semigroup has maximal embedding dimension. Thus, if S is an Arf numerical semigroup with multiplicity m , then S is minimally generated by $(Ap(S, m) \setminus \{0\}) \cup \{m\}$.

A class of numerical semigroups Arf, the multiplicity of which is a p prime number, is given in (Çelik, 2022). However, García-Sánchez at al., in 2017 show that Arf numerical semigroups with multiplicity up to seven and given conductor are described parametrically. In this work, we obtain a description for Arf numerical semigroups with multiplicity eight, which is similar to the work in (García-Sánchez at al., 2017). We now recall some results that we will frequently use throughout the paper.

Lemma 1 [García-Sánchez at al., 2017, Lemma 11] Let S be an Arf numerical semigroup with multiplicity m and conductor C . Let $Ap(S, m) =$

$\{w_0 = 0, w_1, \dots, w_{m-1}\}$. For each $j = 2, 3, \dots, m - 1$, we have

(a) $w_{j-1} < w_j \Rightarrow C \leq w_j - 1$

(b) $w_j < w_{j-1} \Rightarrow C \leq w_{j-1}$.

Lemma 1 shows that for each $j = 2, \dots, m - 1$, at least one of w_{j-1} or w_j is not less than C .

Let S be a numerical semigroup with multiplicity m and conductor C . As every non-negative multiple of m is in S and $C - 1 \notin S$, it follows that $C \not\equiv 1 \pmod{m}$. The following lemma shows that w_1 and w_{m-1} are completely determined by the multiplicity and the conductor in any Arf numerical semigroup.

Lemma 2 [García-Sánchez at al., 2017, Lemma 13] Let S be an Arf numerical semigroup with multiplicity m and conductor C where $C \equiv k \pmod{m}$ and $k \in \{0, 2, \dots, m - 1\}$. Then

(a)

$$w_1 = \begin{cases} C + 1 & \text{if } k = 0 \ (C \equiv 0 \pmod{m}) \\ C - k + m + 1 & \text{if } k \neq 0 \ (C \not\equiv 0 \pmod{m}) \end{cases}$$

(b) $w_{m-1} = C - k + m - 1$

Lemma 3 [García-Sánchez at al., 2017, Lemma 15] Let S be an Arf numerical semigroup with multiplicity $m > 2$. For any $t \in \mathbb{N}$ with $t \leq \frac{m}{2}$, we have $w_{2t} \leq w_t + t$ and $w_{m-2t} \leq w_{m-t} + m - t$.

Arf Numerical Semigroups With Multiplicity 8

Let S be an Arf numerical semigroup with multiplicity eight and conductor C . Then $C \equiv 0, 2, 3, 4, 5, 6$ or $7 \pmod{8}$. Recall that the ratio R of S is the least element larger than the multiplicity in the minimal system of generators for S . It can be easily seen that

$$R \leq C + 1 \text{ if } C \equiv 0 \pmod{8}, R \leq C \text{ if } C \not\equiv 0 \pmod{8}.$$

Remark 1 As a result of Lemma 3, if S is an Arf numerical semigroup with multiplicity eight and $Ap(S, 8) = \{w_0 = 0, w_1, \dots, w_7\}$ then we have

(a) $w_6 \leq w_3 + 3$ (b) $w_4 \leq w_2 + 2$

(c) $w_2 \leq w_5 + 5$ (d) $w_4 \leq w_6 + 6$.

Theorem 4 Let S be a numerical semigroup with multiplicity eight and conductor C where $C > 8$ and $C \equiv 0 \pmod{8}$. Then S is an Arf numerical semigroup if and only if S is one of the followings:

$\langle 8, C + 1, C + 2, C + 3, C + 4, C + 5, C + 6, C + 7 \rangle;$

$\langle 8, 8u + 2, 8u + 4, 8u + 6, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle$ for each $1 \leq u \leq \frac{C-8}{8};$

$\langle 8, C - 5, C - 2, C + 1, C + 2, C + 4, C + 5, C + 7 \rangle;$

$\langle 8, 8u + 4, 8t + 2, 8t + 6, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle$ for each $1 \leq u < t \leq \frac{C}{8}$;

$\langle 8, 8u + 4, 8t - 2, 8t + 2, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle$ for each $1 \leq u < t \leq \frac{C}{8}$;

$\langle 8, C - 3, C + 1, C + 2, C + 3, C + 4, C + 6, C + 7 \rangle$;

$\langle 8, 8u + 6, 8u + 10, 8u + 12, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle$ for each $1 \leq u \leq \frac{C-8}{8}$.

Proof (Necessity) Let S be an Arf numerical semigroup with multiplicity eight and conductor C where $C > 8$ and $C \equiv 0 \pmod{8}$. It can be obtained from Lemma 2 that $w_1 = C + 1$ and $w_7 = C + 7$. In addition, the largest element of the set $Ap(S, 8)$ is $w_7 = C + 7$ which can be obtained from the equality of $\max(Ap(S, 8)) = F(S) + 8$. So the other elements of the Apéry set must be smaller than $w_7 = C + 7$. In other words, $w_i < C + 7$ for each $i \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$. In this way, the ratio of S, R , is one of the elements w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 or w_6 .

(i) If $R = w_1$, then it is obvious that

$$S = \langle 8, C + 1, C + 2, C + 3, C + 4, C + 5, C + 6, C + 7 \rangle.$$

(ii) If $R = w_2$, then $w_2 \leq C - 6$. Consequently, $w_2 = 8u + 2$, where $1 \leq u \leq \frac{C-8}{8}$. Since $w_2 < w_3$, $C + 1 \leq w_3$. Then by Lemma 1, we have $w_3 = C + 3$. Because we know that $w_2 < w_4$ and $w_4 \leq w_2 + 2$ given in Remark 1, we get $w_4 = w_2 + 2 = 8u + 4$. The inequality $w_2 < w_5$ yields the inequality $w_4 = w_2 + 2 < w_5$. Then w_5 can be obtained from Lemma 1 to be $C + 5$. Finally, we have $2w_4 - w_2 = 8u + 6 \in S$ by the Arf condition, which $w_6 \leq 8u + 6$. Since $w_2 = 8u + 2 < w_6$, we get $w_6 = 8u + 6$. It follows that

$$S = \langle 8, 8u + 2, 8u + 4, 8u + 6, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u \leq \frac{C-8}{8}.$$

(iii) If $R = w_3$, then $w_3 \leq C - 5$. Since $R = w_3$, w_2 and w_4 can be found from Lemma 1 as $w_2 = C + 2$ and $w_4 = C + 4$, respectively. In order see to that $C + 4 = w_4 \leq w_6 + 6 \leq w_3 + 9 \leq C + 4$, we use Remark 1 (d) and (a), respectively. Accordingly, we get $w_3 = C - 5$ and $w_6 = C - 2$. Since $R = w_3$ and $\max(Ap(S, 8)) = C + 7$, we can obtain $C - 5 = w_3 < w_5 < C + 7$. Thus, $w_5 = C + 5$. Hence,

$$S = \langle 8, C - 5, C - 2, C + 1, C + 2, C + 4, C + 5, C + 7 \rangle.$$

(iv) If $R = w_4$, then $w_4 \leq C - 4$. As a result of this, w_4 is equal to $8u + 4$ for the interval of u indicated by $1 \leq u \leq \frac{C-8}{8}$. Then by Lemma 1, we have $w_3 = C + 3$ and $w_5 = C + 5$. The inequality of $w_4 \leq w_2 + 2$ is given in Remark 1 (b), and so $w_2 + 2 \in S$. Therefore, $2(w_2 + 2) - w_2 = w_2 + 4 \in S$ by the Arf condition. This implies that $w_6 \leq w_2 + 4$. Under these conditions, there are two cases: $w_4 < w_2 < w_6$ or $w_4 < w_6 < w_2$.

If $w_4 < w_2 < w_6$ then $w_2 = 8t + 2$ and $w_6 = 8t + 6$, for some $t \in \mathbb{N}$. Since $w_4 < w_6$ and $w_6 < C + 7$, we have $1 \leq u < t \leq \frac{C}{8}$. It follows that

$$S = \langle 8, 8u + 4, 8t + 2, 8t + 6, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u < t \leq \frac{C}{8}.$$

If $w_4 < w_6 < w_2$, then $w_2 = 8t + 2$ and $w_6 = 8t - 2$ for some $t \in \mathbb{N}$. Since $w_4 < w_2$ and $w_2 < C + 7$, we have $1 \leq u < t \leq \frac{C}{8}$. It follows that

$$S = \langle 8, 8u + 4, 8t - 2, 8t + 2, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u < t \leq \frac{C}{8}.$$

(v) If $R = w_5$, then $w_5 \leq C - 3$. We can obtain $w_4 = C + 4$ and $w_6 = C + 6$ by using Lemma 1. From Remark 1 (a), (b) and (c), respectively, we have $C + 6 = w_6 \leq w_3 + 3$, $C + 4 = w_4 \leq w_2 + 2$ and $w_2 \leq w_5 + 5$. Accordingly, we can calculate $w_3 = C + 3, w_2 = C + 2$ and $w_5 = C - 3$. As a result,

$$S = \langle 8, C - 3, C + 1, C + 2, C + 3, C + 4, C + 6, C + 7 \rangle.$$

(vi) If $R = w_6$, then $w_6 \leq C - 2$. So $w_6 = 8u + 6$ for $1 \leq u \leq \frac{C-8}{8}$. By using Lemma 1, we can calculate $w_5 = C + 5$. By the Arf condition, $2w_6 - 8u = 8u + 12 \in S$. Therefore, $w_4 \leq 8u + 12$. This yields $w_4 = 8u + 12$ due to $w_6 = 8u + 6 < w_4$ ($R = w_6$). In addition, by the Arf condition again, we obtain $2(8u + 8) - (8u + 6) = 8u + 10 \in S$, and so $w_2 = 8u + 10$. Furthermore, since $w_6 < w_3$, we can write $8u + 11 \leq w_3$, which implies that $w_2 = 10u + 10 < w_3$. Hence,

$$S = \langle 8, 8u + 6, 8u + 10, 8u + 12, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u \leq \frac{C-8}{8}.$$

(Sufficiency) The definition of Arf numerical semigroup given in the Section 2 shows that each semigroup given in Theorem 4 satisfies the Arf property.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.1324404

Theorem 5 Let S be a numerical semigroup with multiplicity eight and conductor C where $C > 10$ and $C \equiv 2 \pmod{8}$. Then S is an Arf numerical semigroup if and only if S is one of the followings:

- $\langle 8, 8u + 2, 8u + 4, 8u + 6, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle$ for each $1 \leq u \leq \frac{C-2}{8}$;
- $\langle 8, 8u + 4, 8t + 2, 8t + 6, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle$ for each $1 \leq u < t \leq \frac{C-2}{8}$;
- $\langle 8, 8u + 4, 8t - 2, 8t + 2, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle$ for each $1 \leq u < t \leq \frac{C-2}{8}$;
- $\langle 8, C - 5, C, C + 1, C + 2, C + 4, C + 5, C + 7 \rangle$;
- $\langle 8, 8u + 6, 8u + 10, 8u + 12, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle$ for each $1 \leq u \leq \frac{C-10}{8}$.

Proof (Necessity) Let S be an Arf numerical semigroup with multiplicity eight and conductor C where $C > 10$ and $C \equiv 2 \pmod{8}$. We can calculate $w_1 = C + 7$ and $w_7 = C + 5$ by using Lemma 2. We can see that the largest element of the set $Ap(S, 8)$ is $w_1 = C + 7$ by using $\max(Ap(S, 8)) = F(S) + 8$.

Thus, the other elements of the Apéry set must be smaller than $w_1 = C + 7$, i.e. $w_i < C + 7$ for each $i \in \{0, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$. Note that w_3 must be bigger than C . Otherwise, if $w_3 \leq C$, then $C - 7 \in S$. It can also be found from Lemma 1 $w_4 = C + 2$. In addition, by respectively using Remark 1 (d), (a), the following inequalities can be obtained $C + 2 = w_4 \leq w_6 + 6 \leq w_3 + 9 \leq C + 2$. Thus, $w_6 = C - 4$. Accordingly, by the Arf condition $2(C - 4) - (C - 7) = C - 1 \in S$. This is a contradiction. For this reason w_3 is equal to $C + 1$. Under this condition the ratio of S , is one of the elements w_2, w_4, w_5 or w_6 .

(i) If $R = w_2$, then $w_2 \leq C$. w_2 must be $8u + 2$ for the interval of u indicated by $1 \leq u \leq \frac{C-2}{8}$. Thus, we can get $2w_2 - (8u) = 8u + 4 \in S$ by using the Arf condition. Therefore, $w_4 \leq 8u + 4$. This shows $w_4 = 8u + 4$ as $w_2 = 8u + 2 < w_4$. The Arf condition also gives $w_4 + w_2 - (8u) = 8u + 6 \in S$, which yields $w_6 = 8u + 6$. We can see that $C + 1, 8u + 4$ and $8u + 2 \in S$ through information given above. There are two situations: In the first, if $C + 1 > 8u + 4 > 8u + 2$, then $(C + 1) + (8u + 4) - (8u + 2) = C + 3 \in S$ can be obtained by the Arf condition. In the second, if $8u + 4 > C + 1 > 8u + 2$, then $u = \frac{C-2}{8}$ and $2(8u + 4) - (C + 1) = 2(C + 2) - (C + 1) = C + 3 \in S$ can be obtained by the Arf condition. Hence, $w_5 = C + 3$ and

$$S = \langle 8, 8u + 2, 8u + 4, 8u + 6, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u \leq \frac{C-2}{8}.$$

(ii) If $R = w_4$, then $w_4 \leq C - 6$. In this case, $w_4 = 8u + 4$ for the interval of u indicated by $1 \leq u \leq \frac{C-10}{8}$. It can easily be calculated by using Lemma 1 that $w_3 = C + 1$ and $w_5 = C + 3$. On the other hand, $w_4 \leq w_2 + 2$ is given in Remark 1 (b). Therefore, $2(w_2 + 2) - w_2 = w_2 + 4 \in S$ can be obtained from the Arf condition. We obtained that $w_6 \leq w_2 + 4$. Under these conditions, there are two cases: $w_4 < w_2 < w_6$ or $w_4 < w_6 < w_2$. If $w_4 < w_2 < w_6$, then $w_2 = 8t + 2$ and $w_6 = 8t + 6$ for some $t \in \mathbb{N}$. Since $w_4 < w_6$ and $w_6 < C + 7$, we have $1 \leq u < t \leq \frac{C-2}{8}$. It follows that

$$S = \langle 8, 8u + 4, 8t + 2, 8t + 6, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u < t \leq \frac{C-2}{8}.$$

If $w_4 < w_6 < w_2$, then $w_2 = 8t + 2$ and $w_6 = 8t - 2$ for some $t \in \mathbb{N}$. Since $w_4 < w_2$ and $w_2 < C + 7$, we have $1 \leq u < t \leq \frac{C-2}{8}$. It follows that

$$S = \langle 8, 8u + 4, 8t - 2, 8t + 2, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u < t \leq \frac{C-2}{8}.$$

(iii) If $R = w_5$, then $w_5 \leq C - 5$. We can calculate by using Lemma 1 that $w_4 = C + 2$ and $w_6 = C + 4$. By respectively applying Remark 1 (b), (a) and (c), we can write $C + 2 = w_4 \leq w_2 + 2, C + 4 = w_6 \leq w_3 + 3$ and $C = w_2 \leq w_5 + 5$. As a result, $w_4 = C, w_3 = C + 1$ and $w_5 = C - 5$. Hence,

$$S = \langle 8, C - 5, C, C + 1, C + 2, C + 4, C + 5, C + 7 \rangle.$$

(iv) If $R = w_6$, then $w_6 \leq C - 4$. In this case, $w_6 = 8u + 6$ for the interval of u indicated by $1 \leq u \leq \frac{C-10}{8}$. By using the Arf condition, we can write $2w_6 - 8u = 8u + 12 \in S$. Thus, $w_4 \leq 8u + 12$. Since $R = w_6, w_6 = 8u + 6 < w_4$. These situations yield $w_4 = 8u + 12$. The Arf condition also gives $2(8u + 8) - (8u + 6) = 8u + 10 \in S$, which yields $w_2 = 8u + 10$. Furthermore, it can easily be seen by Lemma 1 that $w_5 = C + 3$. Moreover, $8u + 6 < w_3$ since $w_6 < w_3$. This implies that $w_2 < w_3$. Under these conditions, $w_3 = C + 1$ by using Lemma 1. It follows that

$$S = \langle 8, 8u + 6, 8u + 10, 8u + 12, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u \leq \frac{C-10}{8}.$$

(Sufficiency) The definition of Arf numerical semigroup given in the Section 2 shows that each

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.1324404

semigroup given in Theorem 5 satisfies the Arf property.

Theorem 6 Let S be a numerical semigroup with multiplicity eight and conductor C where $C > 11$ and $C \equiv 3 \pmod{8}$. Then S is an Arf numerical semigroup if and only if S is one of the followings:

$$\langle 8, C, C + 1, C + 2, C + 3, C + 4, C + 6, C + 7 \rangle;$$

$$\langle 8, 8u + 4, C, C + 2, C + 3, C + 4, C + 6, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u \leq \frac{C-11}{8}.$$

Proof (Necessity) Let S be an Arf numerical semigroup with multiplicity eight and conductor C where $C > 11$ and $C \equiv 3 \pmod{8}$. Then, we can get $w_1 = C + 6$ and $w_7 = C + 4$ by using Lemma 2. We can see that the largest element of the set $Ap(S, 8)$ is $w_2 = C + 7$ by using $\max(Ap(S, 8)) = F(S) + 8$. So the other elements of the Apéry set must be smaller than $w_2 = C + 7$, i.e. $w_i < C + 7$ for each $i \in \{0, 1, 3, 4, 5, 6, 7\}$. If $w_6 < C$, then $C - 5 \in S$. We also have $C - 3 \in S$, and so $2(C - 3) - (C - 5) = C - 1 \in S$ by the Arf condition. This contradicts with the fact that C is the conductor of S . Therefore, w_6 must be bigger than C . This means that $w_6 = C + 3$. By respectively using Remark 1 (a) and (c) we see that $C + 3 = w_6 \leq w_3 + 3$ and $C + 7 = w_2 \leq w_5 + 5$. Thus, these results yield $w_3 = C$ and $w_5 = C + 2$. Accordingly, the ratio of S, R , is one of the elements $w_3 = C$ or w_4 .

(i) If $w_3 = C$, then it is clear that

$$S = \langle 8, C, C + 1, C + 2, C + 3, C + 4, C + 6, C + 7 \rangle.$$

(ii) If $R = w_4$, then $w_4 \leq C - 7$.

Consequently $w_4 = 8u + 4$, for the interval of u indicated by $1 \leq u \leq \frac{C-11}{8}$. It follows that

$$S = \langle 8, 8u + 4, C, C + 2, C + 3, C + 4, C + 6, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u \leq \frac{C-11}{8}.$$

(Sufficiency) The definition of Arf numerical semigroup given in the Section 2 shows that each semigroup given in Theorem 6 satisfies the Arf property.

Theorem 7 Let S be a numerical semigroup with multiplicity eight and conductor C where $C > 12$ and $C \equiv 4 \pmod{8}$. Then S is an Arf numerical semigroup if and only if S is one of the followings:

$$\langle 8, 8u + 2, 8u + 4, 8u + 6, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u \leq \frac{C-4}{8};$$

$$\langle 8, 8u + 4, 8t + 2, 8t + 6, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u < t \leq \frac{C-4}{8};$$

$$\langle 8, 8u + 4, 8t - 2, 8t + 2, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u < t \leq \frac{C+4}{8};$$

$$\langle 8, 8u + 6, 8u + 10, 8u + 12, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u \leq \frac{C-12}{8}.$$

Proof (Necessity) Let S be an Arf numerical semigroup with multiplicity eight and conductor C where $C > 12$ and $C \equiv 4 \pmod{8}$. We can calculate $w_1 = C + 5$ and $w_7 = C + 3$ by using Lemma 2. The largest element of the set $Ap(S, 8)$ is $w_3 = C + 7$ due to the fact that $\max(Ap(S, 8)) = F(S) + 8$. So the other elements of the Apéry set must be smaller than $w_3 = C + 7$, i.e. $w_i < C + 7$ for each $i \in \{0, 1, 2, 4, 5, 6, 7\}$. Note that $w_5 > C$. Otherwise, $w_5 \leq C$ which implies that $w_5 \leq C - 7 \in S$. Then $C - 4 \in S$ as well, and so $2(C - 4) - (C - 7) = C - 1 \in S$ by the Arf condition. This is a contradiction. Therefore, $w_5 > C$ and $w_5 = C + 1$. Thus, the ratio of S, R , is one of the elements w_2, w_4 or w_6 .

(i) If $R = w_2$, then $w_2 \leq C - 2$. Consequently, $w_2 = 8u + 2$ for the interval of u indicated by $1 \leq u \leq \frac{C-4}{8}$. The Arf condition gives $2w_2 - 8u = 8u + 4 \in S$. Therefore, $w_4 \leq 8u + 4$. Since $8u + 2 = w_2 < w_4$. The Arf condition also gives $w_4 + w_2 - 8u = 8u + 6 \in S$. This yields $w_6 = 8u + 6$ due to $w_2 = 8u + 2 < w_6$. Hence,

$$S = \langle 8, 8u + 2, 8u + 4, 8u + 6, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u \leq \frac{C-4}{8}.$$

(ii) If $R = w_4$, then $w_4 \leq C$. As a result, $w_4 = 8u + 4$ for the interval of u indicated by $1 \leq u \leq \frac{C-4}{8}$. Note that $w_2 + 2 \in S$ since $w_4 < w_2 + 2$. Then the Arf condition gives $2(w_2 + 2) - w_2 = w_2 + 4 \in S$. This implies $w_6 \leq w_2 + 4$. As a result, we get two cases: $w_4 < w_2 < w_6$ and $w_4 < w_6 < w_2$ are considered. If $w_4 < w_2 < w_6$, then $w_2 = 8t + 2$ and $w_6 = 8t + 6$ for some $t \in \mathbb{N}$. Since $w_4 < w_6$ and $w_6 < C + 7$, we have $1 \leq u < t \leq \frac{C-4}{8}$. It follows that

$$S = \langle 8, 8u + 4, 8t + 2, 8t + 6, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u < t \leq \frac{C-4}{8}.$$

If $w_4 < w_6 < w_2$, then $w_2 = 8t + 2$ and $w_6 = 8t - 2$ for some $t \in \mathbb{N}$.

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1324404

Since $w_4 < w_2$ and $w_2 < C + 7$, we have $1 \leq u < t \leq \frac{C+4}{8}$. It follows that

$$S = \langle 8, 8u + 4, 8t - 2, 8t + 2, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u < t \leq \frac{C+4}{8}.$$

(iii) If $R = w_6$, then $w_6 \leq C - 6$. Accordingly, $w_6 = 8u + 6$ for the interval of u indicated by $1 \leq u \leq \frac{C-12}{8}$. We can get $w_5 = C + 1$ by Lemma 1. On the other hand, $w_4 \leq w_6 + 6$ is given in Remark 1 (d). Since $w_6 < w_4$, we get $w_4 = w_6 + 6 = 8u + 12$. By the Arf condition, we also get $2(8u + 8) - w_6 = 8u + 10 \in S$. This implies $w_2 \leq 8u + 10$. Since $w_6 = 8u + 6 < w_2$, w_2 must be equal to $8u + 10$. It follows that

$$S = \langle 8, 8u + 6, 8u + 10, 8u + 12, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u \leq \frac{C-12}{8}.$$

(Sufficiency) The definition of Arf numerical semigroup given in the Section 2 shows that each semigroup given in Theorem 7 satisfies the Arf property.

Theorem 8 Let S be a numerical semigroup with multiplicity eight and conductor C where $C > 13$ and $C \equiv 5 \pmod{8}$. Then S is an Arf numerical semigroup if and only if S is one of the followings:

$$\langle 8, C - 2, C, C + 1, C + 2, C + 4, C + 5, C + 7 \rangle;$$

$$\langle 8, C, C + 1, C + 2, C + 4, C + 5, C + 6, C + 7 \rangle.$$

Proof (Necessity) Let S be an Arf numerical semigroup with multiplicity eight and conductor C where $C > 13$ and $C \equiv 5 \pmod{8}$. It can easily be calculated from Lemma 2 that $w_1 = C + 4$ and $w_7 = C + 2$. The largest element of the set $Ap(S, 8)$ is $w_4 = C + 7$ due to the fact that $\max(Ap(S, 8)) = F(S) + 8$. So the other elements of the Apéry set must be smaller than $w_4 = C + 7$, i.e. $w_i < C + 7$ for each $i \in \{0, 1, 2, 3, 5, 6, 7\}$. Using respectively Remark 1 (b), (d), (c) and (a), we see that $C + 7 = w_4 \leq w_2 + 2 \Rightarrow w_2 = C + 5$, $C + 7 = w_4 \leq w_6 + 6 \Rightarrow w_6 = C + 1$, $C + 5 = w_2 \leq w_5 + 5 \Rightarrow w_5 \geq C$ and $C + 1 = w_6 \leq w_3 + 3 \Rightarrow w_3 \geq C - 2$. According to the values obtained above, $R = w_3 = C - 2$ or $R = w_5 = C$.

(i) If $R = w_3 = C - 2$, then

$$S = \langle 8, C - 2, C, C + 1, C + 2, C + 4, C + 5, C + 7 \rangle.$$

(ii) If $R = w_5 = C$, then

$$S = \langle 8, C, C + 1, C + 2, C + 4, C + 5, C + 6, C + 7 \rangle.$$

(Sufficiency) The definition of Arf numerical semigroup given in the Section 2 shows that each semigroup given in Theorem 8 satisfies the Arf property.

Theorem 9 Let S be a numerical semigroup with multiplicity eight and conductor C where $C > 14$ and $C \equiv 6 \pmod{8}$. Then S is an Arf numerical semigroup if and only if S is one of the followings:

$$\langle 8, 8u + 2, 8u + 4, 8u + 6, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u \leq \frac{C-6}{8};$$

$$\langle 8, C - 3, C, C + 1, C + 3, C + 4, C + 6, C + 7 \rangle;$$

$$\langle 8, 8u + 4, 8t + 2, 8t + 6, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u < t \leq \frac{C-6}{8};$$

$$\langle 8, 8u + 4, 8t - 2, 8t + 2, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u < t \leq \frac{C+2}{8};$$

$$\langle 8, 8u + 6, 8u + 10, 8u + 12, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u \leq \frac{C-6}{8}.$$

Proof (Necessity) Let S be an Arf numerical semigroup with multiplicity eight and conductor C where $C > 14$ and $C \equiv 6 \pmod{8}$. We get $w_1 = C + 3$ and $w_7 = C + 1$ by using Lemma 2. The largest element of the set $Ap(S, 8)$ is $w_5 = C + 7$ due to the fact that $\max(Ap(S, 8)) = F(S) + 8$. So the other elements of the Apéry set must be smaller than $w_5 = C + 7$, i.e. $w_i \leq C + 7$ for each $i \in \{0, 1, 2, 3, 4, 6, 7\}$. Therefore, the ratio of S, R , is one of the elements w_2, w_3, w_4 or w_6 .

(i) If $R = w_2$, then $w_2 \leq C - 4$. Accordingly, $w_2 = 8u + 2$ for the interval of u indicated by $1 \leq u \leq \frac{C-6}{8}$. $w_4 \leq w_2 + 2$ is given in by Remark 1 (b) and due to fact that $w_2 = 8u + 2 < w_4$, we get $w_4 = 8u + 4$. By using the Arf condition, $2w_4 - w_2 = 8u + 6 \in S$ which implies $w_6 \leq 8u + 6$. Since $w_2 = 8u + 2 \leq w_6$, w_6 must be equal to $8u + 6$. It follows from Lemma 1 that $w_3 = C + 5$. Under these conditions, S can be written as follows:

$$S = \langle 8, 8u + 2, 8u + 4, 8u + 6, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle \text{ for each } 1 \leq u \leq \frac{C-6}{8}.$$

(ii) If $R = w_3$, then $w_3 \leq C - 3$. We can evaluate from Lemma 1 that $w_4 = C + 6$ and $w_2 = C + 4$. As given in Remark 1 (d), $C + 6 = w_4 \leq w_6 + 6$. Therefore, $w_6 = C$. On the other hand, $w_6 \leq w_3 + 3$ is given in Remark 1 (a). Thus, $w_3 = C - 3$. So, S can be written as

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.1324404

$S = \langle 8, C - 3, C, C + 1, C + 3, C + 4, C + 6, C + 7 \rangle$.

(iii) If $R = w_4$, then $w_4 \leq C - 2$. Accordingly, $w_4 = 8u + 4$ for the interval of u indicated by $1 \leq u \leq \frac{C-6}{8}$. By using Lemma 1, we can get $w_3 = C + 5$. $w_4 \leq w_2 + 2$ is given in Remark 1 (b). By using the Arf condition $2(w_2 + 2) - w_2 = w_2 + 4 \in S$. This implies that $w_6 \leq w_2 + 4$. As a result, we get two cases: $w_4 < w_2 < w_6$ and $w_4 < w_6 < w_2$.

If $w_4 < w_2 < w_6$, then $w_2 = 8t + 2$ and $w_6 = 8t + 6$ for some $t \in \mathbb{N}$. Since $w_4 < w_6$ and $w_6 < C + 7$, we have $1 \leq u < t \leq \frac{C-6}{8}$. It follows that

$S = \langle 8, 8u + 4, 8t + 2, 8t + 6, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle$ for each $1 \leq u < t \leq \frac{C-6}{8}$.

If $w_4 < w_6 < w_2$, then $w_2 = 8t + 2$ and $w_6 = 8t - 2$ for some $t \in \mathbb{N}$.

Since $w_4 < w_2$ and $w_2 < C + 7$, we have $1 \leq u < t \leq \frac{C+2}{8}$. It follows that

$S = \langle 8, 8u + 4, 8t - 2, 8t + 2, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle$ for each $1 \leq u < t \leq \frac{C+2}{8}$.

(iv) If $R = w_6$, then $w_6 \leq C$. As a result, $w_6 = 8u + 6$ for the interval of u indicated by $1 \leq u \leq \frac{C-6}{8}$. In this case, $2(8u + 8) - w_6 = 8u + 10 \in S$ by the Arf condition. Thus, $w_4 \leq 8u + 12$. On the other hand, we know that $w_6 = 8u + 6 < w_4$. Thus, w_4 must be equal to $8u + 12$. Furthermore, $w_6 < w_3 \Rightarrow 8u + 6 < w_3 \Rightarrow w_2 < w_3$. So $w_3 = C + 5$ is obtained by using Lemma 1. Hence,

$S = \langle 8, 8u + 6, 8u + 10, 8u + 12, C + 1, C + 3, C + 5, C + 7 \rangle$ for each $1 \leq u \leq \frac{C-6}{8}$.

(Sufficiency) The definition of Arf numerical semigroup given in the Section 2 shows that each semigroup given in Theorem 9 satisfies the Arf property.

Theorem 10 Let S be a numerical semigroup with multiplicity eight and conductor C where $C > 15$ and $C \equiv 7 \pmod{8}$. Then S is an Arf numerical semigroup if and only if S is one of the followings:

$\langle 8, 8u + 4, C, C + 2, C + 3, C + 4, C + 6, C + 7 \rangle$ for each $1 \leq u \leq \frac{C-7}{8}$;

$\langle 8, C - 2, C, C + 2, C + 3, C + 4, C + 5, C + 7 \rangle$;

$\langle 8, C, C + 2, C + 3, C + 4, C + 5, C + 6, C + 7 \rangle$.

Proof (Necessity) Let S be an Arf numerical semigroup with multiplicity eight and conductor C

where $C > 15$ and $C \equiv 7 \pmod{8}$. Under these conditions, we can calculate $w_1 = C + 2$ and $w_7 = C$ by using Lemma 2. The largest element of the set $Ap(S, 8)$ is $w_6 = C + 7$ due to the fact that $\max(Ap(S, 8)) = F(S) + 8$. So the other elements of the Apéry set must be smaller than $w_6 = C + 7$, i.e. $w_i < C + 7$ for each $i \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 7\}$. Using Remark 1 (a), we get $w_3 = C + 4$. Note that $w_2 > C$. Otherwise, if $w_2 < C$, then $w_2 \leq C - 5 \in S$. Thus, by the Arf condition we get $2(C - 5) - (C - 7) = C - 3 \in S$, and $2(C - 3) - (C - 5) = C - 1 \in S$. This is a contradiction. Therefore, $w_2 = C + 3$. Besides, $C + 3 = w_2 \leq w_5 + 5$ is given in Remark 1 (c). This implies that $w_5 \geq C - 2$. Therefore, the ratio of S, R , is one of the elements $w_4, w_5 = C - 2$ or $w_7 = C$.

(i) If $R = w_4$, then $w_4 \leq C - 3$. Accordingly, $w_4 = 8u + 4$ for the interval of u indicated by $1 \leq u \leq \frac{C-7}{8}$. We can write $w_5 = C + 6$ by using Lemma 1. Hence,

$S = \langle 8, 8u + 4, C, C + 2, C + 3, C + 4, C + 6, C + 7 \rangle$ for each $1 \leq u \leq \frac{C-7}{8}$.

(ii) If $R = w_5 = C - 2$, then

$S = \langle 8, C - 2, C, C + 2, C + 3, C + 4, C + 5, C + 7 \rangle$.

(iii) If $R = w_7 = C$, then

$S = \langle 8, C, C + 2, C + 3, C + 4, C + 5, C + 6, C + 7 \rangle$.

(Sufficiency) The definition of Arf numerical semigroup given in the Section 2 shows that each semigroup given in Theorem 10 satisfies the Arf property.

For any rational number x , the greatest integer less than or equal to x is denoted by $\lfloor x \rfloor$. We denote the set of Arf numerical semigroups and the number of Arf numerical semigroups with multiplicity eight and conductor C , where $\lfloor \frac{C}{8} \rfloor > 1$, by $S_{ARF}(8, C)$ and $N_{ARF}(8, C)$, respectively. The above theorems can be used to calculate the number of Arf numerical semigroups with multiplicity eight and given conductor.

Corollary 11 Let C be a positive integer such that $\lfloor \frac{C}{8} \rfloor > 1$. The number of Arf numerical semigroups with multiplicity eight and conductor C is

$$N_{ARF}(8, C) = \begin{cases} \left(\frac{C}{8}\right)^2 + \left(\frac{C}{8}\right) + 1 & \text{if } C \equiv 0 \pmod{8}, \\ \left(\frac{C-2}{8}\right)^2 + \left(\frac{C-2}{8}\right) & \text{if } C \equiv 2 \pmod{8}, \\ \frac{C-3}{8} & \text{if } C \equiv 3 \pmod{8}, \\ \left(\frac{C-4}{8}\right)\left(\frac{C+4}{8}\right) + \left(\frac{C-4}{8}\right) - 1 & \text{if } C \equiv 4 \pmod{8}, \\ \frac{2}{8} & \text{if } C \equiv 5 \pmod{8}, \\ \left(\frac{C-6}{8} + 1\right)^2 & \text{if } C \equiv 6 \pmod{8}, \\ \frac{C-7}{8} + 2 & \text{if } C \equiv 7 \pmod{8}. \end{cases}$$

Proof We give the proof for the case $C \equiv 0 \pmod{8}$ where $\lfloor \frac{C}{8} \rfloor > 1$. The proofs of the remaining cases are similar. By Theorem 4, there are seven types of semigroups in $S_{ARF}(8, C)$ Following the order in Theorem 4, there is exactly one single semigroup of the first type, while there are precisely $\frac{C-8}{8}$ semigroups of the second type. Similarly, there is one single semigroup of the third type, one single semigroup of the sixth type; there are precisely $\frac{1}{2} \left(\frac{C}{8} - 1\right) \left(\frac{C}{8}\right)$ semigroups of the fourth type, precisely $\frac{1}{2} \left(\frac{C}{8} - 1\right) \left(\frac{C}{8}\right)$ semigroups of the fifth type, and precisely $\frac{C-8}{8}$ semigroups of the seventh type. Thus the number of elements in $S_{ARF}(8, C)$ is

$$N_{ARF}(8, C) = 1 + \left(\frac{C-8}{8}\right) + 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{C}{8} - 1\right) \left(\frac{C}{8}\right) + \frac{1}{2} \left(\frac{C}{8} - 1\right) \left(\frac{C}{8}\right) + 1 + \left(\frac{C-8}{8}\right) = \left(\frac{C}{8}\right)^2 + \left(\frac{C}{8}\right) + 1.$$

Example 1 There are two Arf numerical semigroups with multiplicity eight and conductor 53:
 $\langle 8, 51, 53, 54, 55, 57, 58, 60 \rangle =$
 $\{0, 8, 16, 24, 32, 40, 48, 51, 53, \rightarrow\},$
 $\langle 8, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60 \rangle =$
 $\{0, 8, 16, 24, 32, 40, 48, 53, \rightarrow\}.$

There are two Arf numerical semigroups with multiplicity eight and conductor 853, too:
 $\langle 8, 851, 853, 854, 855, 857, 858, 860 \rangle =$
 $\{0, 8, 16, 24, 32, 40, 48, \dots, 840, 848, 851, 853, \rightarrow\},$
 $\langle 8, 853, 854, 855, 857, 858, 859, 860 \rangle =$
 $\{0, 8, 16, 24, 32, 40, 48, \dots, 840, 848, 853, \rightarrow\}.$

Example 2 Let's find all Arf numerical semigroups with eight and conductor 47.

For $u = 1, 2, 3, 5$ and $C = 47 \equiv 7 \pmod{8}$ we write five different semigroups as follows:

$$\langle 8, 12, 47, 49, 50, 51, 53, 54 \rangle =$$

$$\{0, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 47, \rightarrow\},$$

$$\langle 8, 20, 47, 49, 50, 51, 53, 54 \rangle =$$

$$\{0, 8, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 47, \rightarrow\},$$

$$\langle 8, 28, 47, 49, 50, 51, 53, 54 \rangle =$$

$$\{0, 8, 16, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 47, \rightarrow\},$$

$$\langle 8, 36, 47, 49, 50, 51, 53, 54 \rangle =$$

$$\{0, 8, 16, 24, 32, 36, 40, 44, 47, \rightarrow\},$$

$$\langle 8, 44, 47, 49, 50, 51, 53, 54 \rangle =$$

$$\{0, 8, 16, 24, 32, 40, 44, 47, \rightarrow\}.$$

In addition, two different Arf numerical semigroups with eight and conductor 47 can be written, these are as follows:

$$\langle 8, 45, 47, 49, 50, 51, 52, 54 \rangle =$$

$$\{0, 8, 16, 24, 32, 40, 45, 47, \rightarrow\},$$

$$\langle 8, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54 \rangle = \{0, 8, 16, 24, 32, 40, 47, \rightarrow\}.$$

CONCLUSION

In this study, all Arf numerical semigroups with multiplicity 8 were characterized when given a specific conductor. In addition, the number of all Arf numerical semigroups with conductor C and multiplicity 8 were formulated. In the continuation of this study, Arf numerical semigroups with certain multiplicities will be obtained, and it will be an important resource for those working in the field of numerical semigroup applications.

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper was supported by the project TÜBİTAK 3001-118F175.

CONFLICT OF INTEREST

The Author reports no conflict of interest relevant to this article.

RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The Author declares that this study complies with research and publication ethics.

REFERENCES

- Arf, C. (1949). Une interprétation algébrique de la suite des ordres de multiplicité d'une branche algebrique. Proc. London Math. Soc., 50(2), 256–287.
- Barucci, V., Dobbs, D.E. and Fontana, M. (1997) Maximality properties in numerical semigroups and applications to one-dimensional analytically

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1324404

- irreducible local domains. *Memoirs of the Amer. Math. Soc.*, 125(598), 78 pp.
- Çelik A. (2022). On Saturated Numerical Semigroups with Multiplicity p Prime Numbers. *Bitlis Eren University Journal of Science*, 11(3), 893-901.
- Fröberg, R., Gottlieb, C. and Häggkvist, R. (1987). On numerical semigroups, *Semigroup Forum*, 35, 63–83.
- García -Sánchez, P.A., Heredia, B.A., Karakaş, H.İ. and Rosales, J.C. (2017). Parametrizing Arf numerical semigroups. *J. Algebra Appl.*, 16(11), 31 pp.
- İlhan, S. and Süer, M. (2017) On the saturated numerical semigroups. *Open Mathematics*, 14(2), 827–831.
- Rosales, J.C. (2005). Numerical semigroups with multiplicity three and four. *Semigroup Forum*, 71, 323–331.
- Rosales, J.C. and García -Sánchez, P.A. (2009). *Numerical semigroups*. New York: Springer.

Savunma Sanayi’de Kullanılan CuZn30 ve CuZn10 Pirinç Alaşımlarına Uygulanan Farklı Isıl İşlem Parametrelerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi

Uğur Çalgülü*, Doğan Bölükbaş, Nida Darcan

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

*ucaligulu@firat.edu.tr^{ID}, bolukbasdogan61@gmail.com^{ID}, n.darcan.nd@gmail.com^{ID}

Makale gönderme tarihi: 25.11.2023, Makale kabul tarihi: 19.12.2023

Öz

Bu çalışmada savunma sanayide mühimmat üretiminde kullanılan CuZn30 ve CuZn10 pirinç alaşımlı malzemeler farklı ısıl işlem parametreleriyle hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin mikroyapıları ve mekanik özellikleri incelenmiştir. CuZn30 için; ısıl işlemsiz, 400°C ve 670°C’de tavlama işlemi yapılmıştır. CuZn10 pirinç alaşımlı numuneler ise ısıl işlemsiz, 400 °C, 600°C ve 650°C de tavlama işlemi uygulandıktan sonra farklı özelliklere sahip dört grup olarak incelenmiştir. Yapılan tüm kontrol ve incelemeler sonucunda CuZn30 pirinç alaşımlı malzemenin 670°C sıcaklıkta 1 saat tavlama sonucunda yüzey sertlikleri 60-64 HV10 olarak ölçülmüş ve mekanik özellikleri bakımından üretime en uygun hale geldiği tespit edilmiştir. CuZn10 pirinç alaşımlı malzemenin ise 650°C 1 saat tavlama sonucunda yüzey sertlikleri 55-60 HV5 olarak ölçülmüş ve optimum değerlere ulaştığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Savunma sanayii, CuZn30, CuZn10, mikroyapı, mekanik özellikler

Effect of Different Heat Treatment Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of CuZn30 and CuZn10 Brass Alloys Used in the Defense Industry

Abstract

In this study, CuZn30 and CuZn10 brass alloy materials used in ammunition production in the defense industry were prepared with different heat treatment parameters. The microstructures and mechanical properties of the prepared samples were examined. For CuZn30; Without heat treatment, annealing was done at 400°C and 670°C. CuZn10 brass alloy samples were examined in four groups with different properties, without heat treatment and after annealing at 400 °C, 600 °C and 650 °C. As a result of all the controls and examinations, the surface hardness of the CuZn30 brass alloy material was measured as 60-64 HV10 as a result of annealing at 670°C for 1 hour, and it was determined that it was most suitable for production in terms of its mechanical properties. As a result of annealing at 650°C for 1 hour, the surface hardness of the CuZn10 brass alloy material was measured as 55-60 HV5 and it was determined that it reached optimum values.

Keywords: Defense industry, CuZn30, CuZn10, microstructure, mechanical properties

GİRİŞ

Pirinç malzemeler geçmişten günümüze kadar iyi derecede işlenebilirlik, korozyon dayanımı ve iletkenlik gibi birçok eşsiz özelliğe sahip olduğundan dolayı mühendislik alanında vazgeçilmez bir malzemedir. Ayrıca pirinç malzemelerin geri dönüşümünün olması ekonomik açıdan büyük önem

arz etmektedir ve bu da bu konuda yapılan çalışmaların önemini gözler önüne sermektedir (Brady, 2009). Ayrıca uygun kimyasal bileşimdeki bakır ve çinko alaşımının seçilmesi ile istenilen mukavemet, süneklik, sertlik, şekillendirilebilirlik, aşınma dayanımı ve farklı renklere sahip malzemeler

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.1395901

elde edilebilmesi yine bu malzemelerin üstün özellikleri arasındadır. Pirinç malzemelerin ekstrüzyon, kalıba dökme, çekme, haddeleme, sıcak veya soğuk şekillendirme gibi birçok üretim yöntemi mevcuttur. Üretim yöntemlerinin fazla olması da uygulama alanlarının gün geçtikçe artmasına sebep olmuştur. Müzik aletleri, çeşitli borular, bağlantı elemanları ve hafif silah mühimmat kovana başta olmak üzere çok geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Tüm bu üstünlüklerinin yanında pirinç malzemeler maliyet açısından seçilebilecek ucuz malzemelerdir (Çakmak ve Akyüz, 2022).

Tavlama işlemi genel anlamda bir malzemenin belirli bir sıcaklıkta belirli bir süre bekletilmesi ve daha sonra soğutulması olarak tanımlanır. Bu işlem esnasında tavlama parametrelerine bağlı olarak malzemenin tane yapısı değişime uğrayabilir ve bu da malzemenin mekanik özelliklerinin değiştirilebilmesine imkân sağlar. Farklı tavlama süreleri ve farklı sıcaklıklar farklı sonuçlar doğurabilir. Son olarak malzemenin kontrollü bir şekilde soğutma işlemine tabi tutulmasıyla yapı kalıcı hale gelir ve malzemenin mekanik özellikleri istenilen doğrultuda değişir. Bu işlem malzemenin mekanik özellikleri üzerinde olumlu etkiler yarattığı için mühendislik uygulamalarında ve özellikle savunma sanayisinde vazgeçilmez bir yere sahiptir (Delikanlı ve ark., 2021).

Pirinç malzemeler genellikle 580-700° C sıcaklıkta tavlana ve tavlama süreleri 1 saat olarak ayarlanmaktadır. Bu malzemeler istenilen özelliklere göre işlendikten sonra da tavlanaabilmektedir (Chandler, 1996). Tavlama önce yapılacak olan şekillendirme miktarı yeniden kristalleştirme sıcaklığının azalmasına sebep olacaktır. Bakır alaşımlı malzemeler genellikle %35 deformasyon oranıyla tavlanaabilmektedirler. Fakat bazı uygulamalarda bu oran %50-60 seviyelerine çıkabilmektedir. Bu yüzden malzemede istenilen tane boyutunu elde edebilmek için tavlama kademeli olarak yapılmalı ve her kademe sonrasında deformasyon oranı azaltılmalıdır (ASM Handbook, 1990). Soğuk şekillendirme yöntemiyle işlenmiş pirinç malzemelerin iç yapısında oluşan gerilimi giderebilmek amacıyla genellikle 250°C sıcaklıkta tavlama uygulanmaktadır. Bu uygulama malzemenin yapısında oluşabilecek gerilmeli korozyonu da önlediğinden dolayı büyük öneme sahiptir

(Mindivan, 2001; Ersümer 1976). %15' ten fazla çinko içeren pirinç alaşımlarda malzemenin iç yapısında gerilim kalıntısı gözlemlenmektedir. Bu yüzden 250°C sıcaklıkta uygulanan tavlama işlemi korozyon direncinin yanında malzemenin boyutsal kararlılığını da artırmaktadır (Vilarinho ve ark., 2005). Pirinç alaşımlarda %32-37 çinko miktarı beta fazını temsil etmektedir. Bu faz hacim merkezli kübik kristal yapıdadır. Alaşım içerisinde CuZn bileşikleri yer almaktadır. Bu fazdaki pirinç malzemelerin sıcak işleme kabiliyeti diğer pirinç malzemelere göre daha yüksektir (Seungman ve Kang 2002; Fontaine ve Keast, 2006).

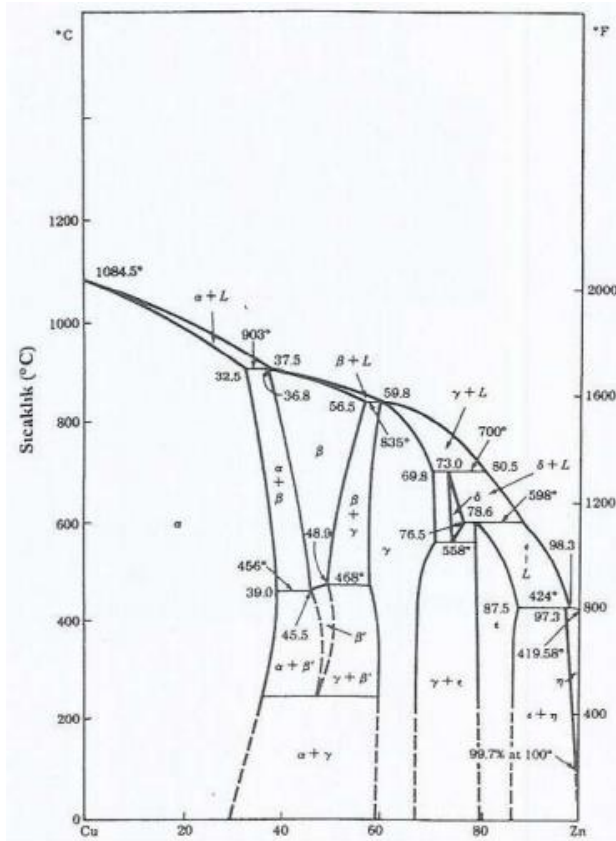
Bu konu ile alakalı yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde; Bilge Seda Şentürk (2007) yaptığı çalışmada pirinç ürünlerin imalinde meydana gelen hataların tespitini araştırmıştır. Yapılan çalışmalarda pirincin izabesinde ikincil hammaddeden gelen demir emprüritesinin önemli hatalara yol açtığı ve MS58 kalitesindeki pirinçte demirin ağırlıkça %0,3'ten fazla olmasının çekilmiş ürünleri kullanılamaz hale getirecek derecede hataya sebep olduğu gözlemlenmiştir (Şentürk, 2007). Oğuzhan Akgün (2000) yaptığı çalışmada; CuZn39Pb3 pirinç alaşımının laboratuvar tipi bir indüksiyon ocağında 900-1100°C sıcaklıklar arasında ergitilmesi sırasında flakslamanın etkileri deneysel olarak incelenmiştir. CuZn39Pb3 pirinç malzemeye ait alaşım elementleri olan bakır, çinko, kurşun ve demir metal dağılım katsayılarının tespiti ile dağılım katsayısı-sıcaklık grafikleri çizilmiştir. Özgenur Kahvecioğlu (2002) yaptığı çalışmada; önemli miktarda çinko ve bakır içeren pirinç küllerinden, çinkonun karbotermik redüksiyon yöntemiyle eldesini ve aynı zamanda bakırın ergimiş metalik fazda toplanmasını kapsamaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar ışığında bu konu ile alakalı çalışmalar olduğu fakat farklı sıcaklık parametrelerinde ısıl işlem uygulanması konusunda eksiklikler olduğu görülmektedir. Ayrıca bu çalışmanın çeşitli borular, bağlantı elemanları ve ateşli silah kartuşu muhafazası başta olmak üzere birçok alanda yapılan imalat işlemlerine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmanın amacı; uygun ısıl işlem parametreleriyle üretimin yapılmasını sağlamak ve ürünlerin derin çekme işlemleri sırasındaki yapısal deformasyon hatalarını engellemektir.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.1395901

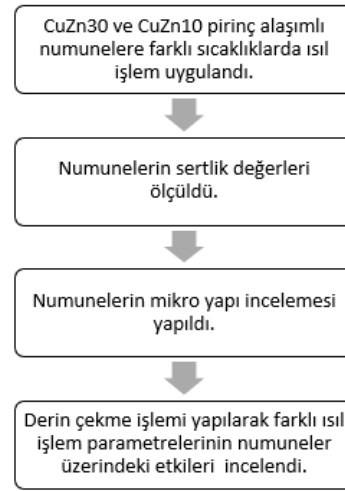
DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

Deneyisel çalışmalarda kullanılan Cu-Zn pirinç malzemelere ait mevcut literatürden alınan denge diyagramı Şekil 1’de görülmektedir (Yalçın, 2014). Bu diyagram dikkate alınarak ısıtım işlem parametreleri (Tablo 1) belirlenerek Şekil 2’deki iş akış şemasına göre işlemler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada; ekonomik bir yaklaşımla en uygun ısıtım işlem parametreleri belirlenerek, ısıtım işlem sıcaklıklarının sistematik olarak değiştirilmesi ile en uygun mikroyapı ve mekanik özelliklerin belirlenmesi



Şekil 1. Cu-Zn Denge Diyagramı (Yalçın, 2014).

amaçlanmaktadır. Aynı zamanda hafif silah, piyade tüfekleri, muharebe tankları gibi birçok savunma sanayi ürününün kalitesini doğrudan etkileyen bir işlem olan ısıtım işlemin etkin ve ekonomik bir şekilde yapılması hayati önem taşımaktadır. Bu amaç doğrultusunda CuZn30 ve CuZn10 numuneleri Tablo 1’de verilen parametreler doğrultusunda ısıtım işleme tabii tutuldu. Malzemeler 1 saat süreyle 15°C’de su ile temas ettirilen tamburun içinde soğuma işlemine tabii tutuldu. Malzemelerin su ile teması olmamakla birlikte sadece tambura temas eden su 15 °C’dir.



Şekil 2. Deneysel Çalışmalara Ait İş Akış Şeması

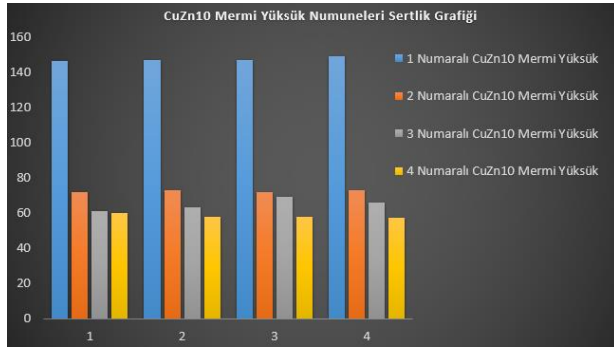
Tablo 1’de sertlikleri ve ısıtım işlem parametreleri verilen deney numunelerinin metalografik incelemesi yapıldı sonrasında derin çekme operasyonuna tabii tutulmuştur.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.1395901

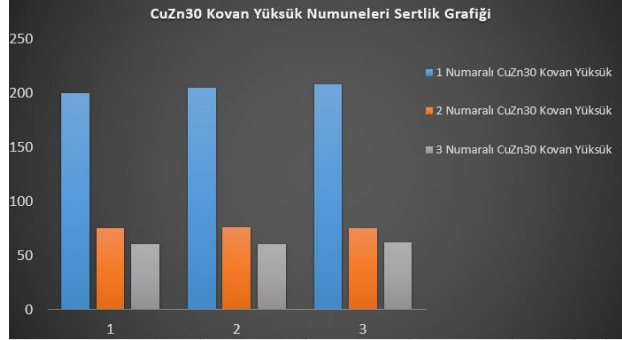
Tablo 1. Numunelere Ait Isıl İşlem Parametreleri

Numune Adı	Isıl İşlem Parametreleri (°C/saat)	Sertlik Değeri (Vickers)	Tane Boyutu (µm)
1 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük	Isıl İşlemsiz	146-150 HV5	37,51 µm
2 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük	400°C / 60 dk	72-73 HV5	44,07 µm
3 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük	600°C / 60 dk	61-69 HV5	59,37 µm
4 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük	650°C / 60 dk	55-60 HV5	75,63 µm
1 Numaralı CuZn30 Kovan Yüksük	Isıl İşlemsiz	200-210 HV10	37,71 µm
2 Numaralı CuZn30 Kovan Yüksük	400°C / 60 dk	74-78 HV10	44,07 µm
3 Numaralı CuZn30 Kovan Yüksük	670°C / 60 dk	60-64 HV10	75,64 µm

7,62 mm mühimmata ait CuZn10 mermi yüksük ve CuZn30 kovan yüksük numunelerinde yapılan incelemeler sonucunda ısıl işlem parametrelerinin sertlik ve tane boyutu değerlerini etkilediği görülmektedir. Tüm numunelerden 5 farklı yerden sertlik değeri alınmıştır ve minimum ve maksimum değerler Tablo 1’de verilmiştir. Bu durum malzemenin işlenebilirliğini de etkilediği üretim denemelerinde görülmüştür.



Şekil 3. CuZn10 Mermi Yüksük Numuneleri Sertlik Grafiği



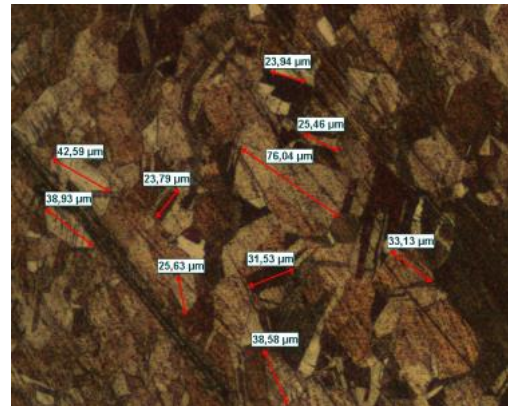
Şekil 4. CuZn30 Kovan Yüksük Numuneleri Sertlik Grafiği

Numunelere ait sertlik grafikleri Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir. Numunelerin sertlik değerleri göz önünde bulundurulduğunda her iki alaşım için de en yüksek sertlik değerinin ısıl işlemsiz numunelere ait olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ısıl işlemin malzemenin tanecik yapısında büyüme sağlamasıdır. Bu da işlenebilirliği kolaylaştırmaktadır. Isıl işlem sıcaklıkları artarken sertliklerin azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum numunelerin tane boyutunun homojen olmasına olumlu etki sağlamıştır. Aynı zamanda optimum ısıl işlem parametrelerinin bulunmasında etkili olmuştur.

BULGULAR

1 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük

Malzemeye herhangi bir ısıl işlem yapılmadan sertlik ölçümü ve metalografik tane yapısı incelemesi yapılmıştır. Isıl işlemsiz numunenin sertlik ölçümü yapılarak malzemelerin yüzeylerine uygulanan 5 kg yük sonucunda 146-150 HV5 değerler görülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5. Isıl İşlemsiz CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Mikroyapı İncelemesi

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1395901

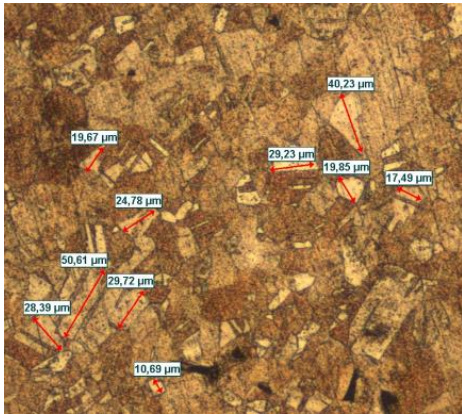
Malzemeye uygulanan parlatma ve metalografik dağlama işlemleri sonrası tane sınırları belirginleştirilerek mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda ortalama tane boyutu $37,51 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Numune derin çekme işlemine tabii tutulduğunda malzemede kopmalar meydana geldiği görülmüştür (Şekil 6).



Şekil 6. Isıl İşlemsiz CuZn10 Mermi Yüksük Numunesinin Derin Çekme Operasyonundaki Durumu

2 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük

400°C sıcaklıkta 1 saat boyunca tavlama yapılan numuneye sertlik ölçümü ve mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Malzemenin metalografik yapısı incelendiğinde tane boyutu $44,07 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 7).



Şekil 7. 400°C de 1 Saat Tavllanmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Mikroyapı İncelemesi

Vickers yöntemiyle 5 kg yük altında yapılan sertlik ölçümlerinde malzemenin yüzey sertliği 72-73 HV5 olarak ölçülmüştür. Malzemenin derin çekme işleminde plastik şekil alma kabiliyetinin düşük olduğu görülmüştür. Mermi dolum makinesinde yüksük derin çekme işlemiyle ucu sivri

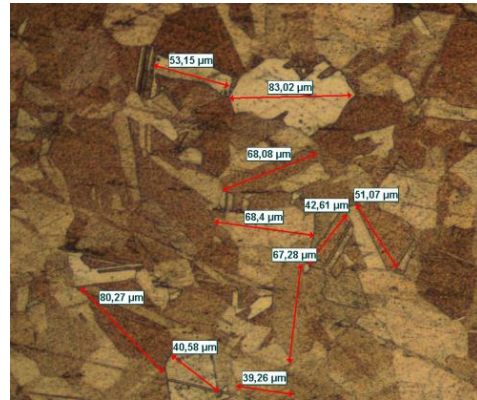
form olarak şekillendirilmelidir. Fakat numunenin son istasyonda uygun şekilde uzamadığı görülmüştür (Şekil 8).



Şekil 8. 400°C 'de Tavllanmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Derin Çekme Sonrası Boy Uzaması

3 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük

600°C de 1 saat tavlama işlemi yapılan numunenin sertlik ölçümlerinde malzemenin yumuşamasından kaynaklı sertlik değerlerinde değişim gözlemlenmiştir. 5 kg yük uygulanan malzemelerin sertlik değerleri 61-69 HV5 olarak ölçülmüştür. Yapılan metalografik tane boyutu incelemesinde malzemenin tane sınırlarının genişlediği ve tane boyutunun arttığı tespit edilmiştir (Şekil 9 ve 10).



Şekil 9. 600°C de 1 Saat Tavllanmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Mikroyapı İncelemesi

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1395901



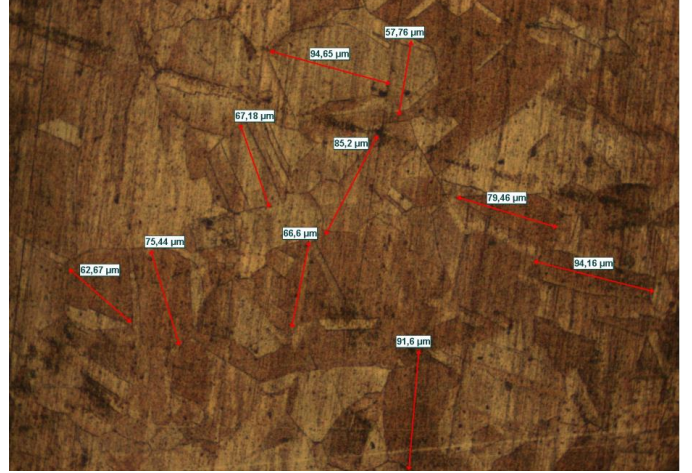
Şekil 10. 600°C CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Derin Çekme Sonrası Boy Uzaması

4 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük

650°C de 1 saat tavlama işlemi yapılan numunenin sertlik ölçümlerinde malzemenin yumuşamasından kaynaklı sertlik değerlerinde değişim gözlemlenmiştir. 5 kg yük uygulanan malzemelerin sertlik değerleri 55-60 HV5 olarak ölçülmüştür. Yapılan metalografik tane boyutu incelemesinde malzemenin tane sınırlarının genişlediği ve tane boyutunun arttığı tespit edilmiştir. Yapılan ölçümlerde tane boyutunun 75,63 µm olarak belirlenmiştir. Malzemeye derin çekme işlemi uygulandığında bir önceki numunelere göre daha kolay şekillendirilebildiği ve makine sarf malzemelerinin ömrüne daha uygun olduğu görülmüştür. (Şekil 11 ve 12).



Şekil 11. 650°C CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Derin Çekme Sonrası Boy Uzaması



Şekil 12. 650°C de 1 Saat Tavlınmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Mikroyapı İncelemesi

1 Numaralı Isıl İşlemsiz CuZn30 Kovan Yüksük

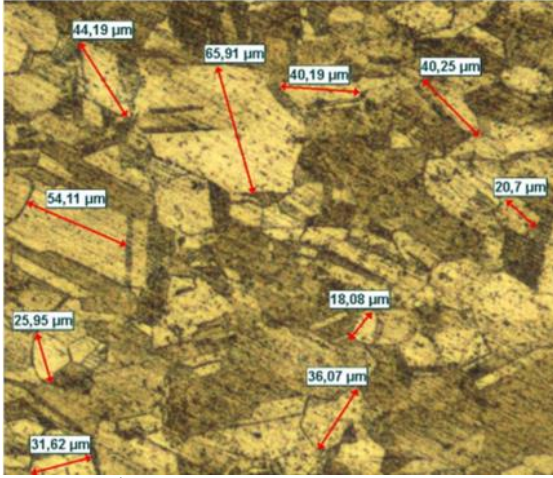
Malzemeye herhangi bir ısıl işlem yapılmaksızın sertlik ölçümü ve metalografik tane yapısı incelemesi yapılmıştır. Yapılan incelemelerde 10 kg yük altında bakılan sertlik değerleri 200-205 HV10 olarak ölçülmüştür. Numunelere 100 tonluk preste derin çekme işlemi uygulanmış ve uygun uzama işlemi gerçekleşmemiştir. Numune pim ve kalıp ömrünü olumsuz etkilemiştir (Şekil 13 ve 14).



Şekil 13. Isıl İşlemsiz CuZn30 Kovan Yüksük Numunesi Derin Çekme İşlemi

Numune eksantrik preste yapılan deneme imalat sırasında sertlik ve mikroyapı değerleri imalat prosesine uygun olmadığından kalıba sıkışmış ve pim – kalıp ömrünü olumsuz etkilemiştir.

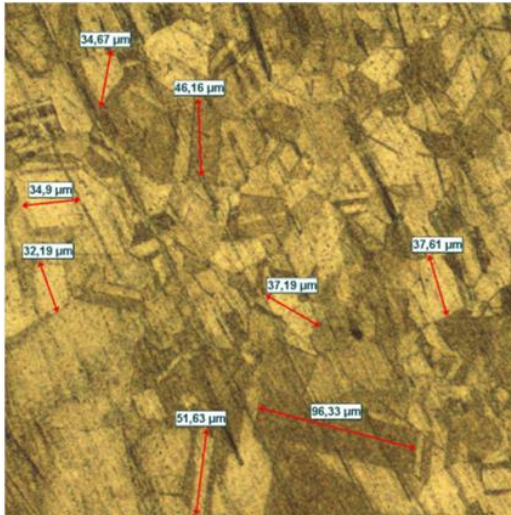
Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1395901



Şekil 14. Isıl İşlemsiz CuZn30 Kovan Yüksük Mikroyapı İncelemesi

2 Numaralı CuZn30 Kovan Yüksük

400°C sıcaklıkta 1 saat tavlama prosesi uygulanan numunelerin ısıl işlem sonrası sertlik ölçümleri ve mikroyapı analizleri gerçekleştirilmiştir. Tavlama sonrası sertlik değerleri 10 kg yük altında 74-78 HV10 olarak ölçülmüştür. Yapılan metalografik tane boyutu analizlerinde ortalama tane büyüklüğü 44,07 µm olarak ölçülmüştür. Daha sonra numuneye derin çekme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem sonucunda numunelerde çatlama ve yırtılmalar meydana gelmiştir (Şekil 15 ve 16).



Şekil 15. 400°C Sıcaklıkta 1 Saat Tavlanan CuZn30 Kovan Yüksük Mikroyapı İncelemesi



Şekil 16. 400°C Sıcaklıkta 1 Saat Tavlanan CuZn30 Kovan Yüksük Derin Çekme İşlemi

3 Numaralı CuZn30 Kovan Yüksük Numunesi

670°C sıcaklıkta 1 saat ısıl işlem gören numunenin üretim sonrası sertlik ve mikroyapı analizlerine bakıldığında tavlama prosesindeki değişiklik nedeniyle sertlik değerlerinde ve tane boyutunda büyüme gözlemlenmiştir. Vickers yöntemiyle yapılan sertlik ölçümlerinde 10 kg yük altında malzemenin yüzey sertlikleri 60-64 HV10 olarak ölçülmüştür. Mikroyapı analizlerinde ise tane boyutu 44,07 µm olarak ölçülmüştür. Derin çekme işleminde numunelerin uygun şekilde uzadığı gözlemlenmiştir (Şekil 17 ve 18).



Şekil 17. 670°C 1 Saat Tavlanan CuZn30 Kovan Yüksük Mikroyapı İncelemesi



Şekil 18. 670°C Sıcaklıkta 1 Saat Tavlanan CuZn30 Kovan Yüksük Derin Çekme İşlemi

SONUÇ VE TARTIŞMA

Savunma sanayi mühimmat üretiminde kullanılan CuZn10 ve CuZn30 alaşımlarının ısıtılma işlem parametrelerinin uygulanan derin çekme prosesleri üzerine etkileri araştırılıp üretim esnasında yaşanan çatlama, yırtılma, kopma, zımba kırılması ve kalıp aşınması hataları engellemek amacıyla her iki alaşıma farklı sıcaklıklarda tavlama prosesleri uygulanmıştır.

- Yapılan uygulamalar sonucunda ısıtılma işlem parametreleri uygun seviyeye getirildiğinde tane boyutlarındaki değişimler malzemenin işlenebilirliğini olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

- Sertlik ve tane boyutu uygun olmayan malzemelerin derin çekme işlemini tamamlayamadığı tespit edilmiştir.

- CuZn10 (MS90) numunelerine uygulanan derin çekme işlemlerinde en uygun ısıtılma işlem prosesi 650°C 1 saat olarak belirlenmiştir.

- CuZn30 (MS70) numunelerine uygulanan derin çekme işlemlerinde en uygun ısıtılma işlem prosesi 670°C 1 saat olarak belirlenmiştir.

- Parametreler belirlenirken ürünlerin üretimi esnasında sarf malzeme israfı ve ekonomik tasarrufların yanı sıra uluslararası kalite standartları da dikkate alınmıştır.

- Bu çalışmanın çeşitli borular, bağlantı elemanları ve hafif silah mühimmat kovani başta olmak üzere birçok alanda yapılan imalat işlemlerine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

- Bu çalışmadan elde edilen verilerden faydalanarak ve sıcaklık parametreleri ve tavlama

süreleri değiştirilerek gelecekte yapılacak olan çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

KAYNAKLAR

- Akgün, O. (2000). Piriç Alaşımlarının Hazırlanmasında Flaksların Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ASM Handbook (1990). Heat Treating. Vol 4, 10th Edition.
- Brady, G.S. (2009). Materials Handbook: An Encyclopedia For Purchasing Managers, Engineers, Executives And Foremen. McGraw-Hill Book Company INC, New York.
- Chandler, H. (1996). Heat Treating Guide: Practices for Non Ferrous Alloys. ASM International The Materials Information Society, Ohio.
- Çakmak, D. ve Akyüz, B. (2022). CW724R Piriç Malzemenin Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörlerin Deneysel Optimizasyonu. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(2), 791-798.
- Delikanlı, K., Engin, M. ve Tunç, O. (2021). Prizmatik Derin Çekme İşlemlerinde Farklı Malzemelere Uygulanan Tavlama İşleminin Biçimlendirilebilirliğe Etkisi. Teknik Bilimleri Dergisi, 11(2), 21-27.
- Ersümer, A. (1976). Bakır ve Alaşımlarının Dökümü ve Isıl İşlemleri. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası.
- La Fontaine, A. ve Keast, V.J. (2006). Compositional Distributions in Classical and Lead-Free Brasses. Materials Characterization, 57, 424-429.
- Kahveci, Ö. (2014). Piriç Küllerinin Pirometalurjik Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Mindivan, H. (2001). Yüksek Mukavemetli Piriçlerin Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerine Isıl İşlemin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Seungman, S. ve Kang, T. (2002). The Effects of Tin and Nickel on the Corrosion Behavior of 60Cu-40Zn Alloys. Journal of Alloys and Compounds, 335, 281-289.
- Şentürk, B.S. (2007). Piriç Alaşımlarının Ekstrüzyonunda Meydana Gelen Üretim Hatalarının Tespiti, Nedenleri ve Çözüm Yolları. Yüksek Lisans

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1395901

Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Vilarinho, C., Davim, J.P., Soares, D., Castro, F. ve Barbosa, J. (2005). Influence of the Chemical Composition on the Machinability of Brasses. *Journal of Materials Processing Technology*, 170, 441-447.

Yalçın, M. (2014). CuZn30 Pirincinin Mikro-Ekstrüzyon İşleminde Boyut Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Numerical Analysis of The Thin Film Solar Cell Modelled Based on In Doped CdS Semiconductor

Serap Yigit Gezgin¹, Silan Baturay², Hamdi Sukur Kilic^{1,3,4,*}

¹University of Selcuk, Faculty of Science, Department of Physics, Konya, Türkiye

²Dicle University, Faculty of Science, Department of Physics, Diyarbakir, Türkiye

³University of Selcuk, Directorate of High Technology Research and Application Center, Konya, Türkiye

⁴University of Selcuk, Directorate of Laser Induced Proton Therapy Application and Research Center, Konya, Türkiye

serap.gezgin@selcuk.edu.tr^{id}, silan@dicle.edu.tr^{id}, *hamdisukurkilic@selcuk.edu.tr^{id}

Received date:16.10.2023, Accepted date: 29.11.2023

Abstract

In this study, pure and 1%, 2% and %3 In-doped CdS thin films were produced by spray pyrolysis method. CdS is an *n*-type (II-VI group) semiconductor material and used as a buffer layer in solar cells. By doping In into CdS thin film, it was investigated how optical and crystalline behavior of thin film are changed. Using Moss and Herve&Vandamme and Ravindra relations, refractive indices and dielectric coefficients were investigated depending on the band gap of the obtained CdS sample. It has been observed that In element decreases the band gap of CdS thin film, improved its crystal structure and reduced its roughness. Therefore, 3% In doped CdS has gained a more ideal feature for use as an *n*-type semiconductor in solar cells. CIGS/In doped CdS solar cell was modelled and analysed by SCAPS-1D simulation program by using the physical parameters of the semiconductor layers that make up solar cells as inputs of program. Photovoltaic parameters of solar cell based on donor defect density, the neutral interface defect density and Auger electron/hole capture coefficient which were calculated by using In %3 doped CdS thin film, which has the most ideal *n*-type semiconductor properties.

Keywords: CdS, metal doping, simulation program, refractive indices

In Katkılı CdS Yarı İletkenine Dayalı Olarak Modellenen İnce Film Güneş Pili'nin Sayısal Analizi

Öz

Bu çalışmada katkısız ve %1, %2 ve %3 In katkılı CdS ince filmleri sprey piroliz yöntemiyle üretildi. CdS, *n* tipi (II-VI grubu) bir yarı iletken malzemedir ve güneş pillerinde tampon katman olarak kullanılır. CdS ince filmine In katkılanarak, elde edilen ince filmin optik ve kristal özelliklerinin değişimi incelendi. Moss, Herve&Vandamme ve Ravindra bağıntıları kullanılarak elde edilen CdS filmlerinin bant aralığına bağlı olarak kırılma indisleri ve dielektrik katsayıları araştırıldı. In katkısı sonucu CdS ince filmin bant aralığı azaldı, kristal yapısı iyileştirildi ve pürüzlülüğü azaltıldı. Bu nedenle %3 In katkılı CdS, güneş pillerinde *n* tipi yarı iletken olarak kullanım için daha ideal bir özellik kazanmıştır. SCAPS-1D simülasyon programı kullanılarak CIGS/In katkılı CdS güneş pili, güneş pillerini oluşturan yarı iletken katmanların fiziksel parametreleri modellenmiştir. Güneş pilinin donör kusur yoğunluğu, nötr ara yüzey kusur yoğunluğu ve Auger elektron/hol yakalama katsayısına dayalı fotovoltaiik parametreleri, en ideal *n*-tipi yarı iletken özelliklere sahip %3 In katkılı CdS ince filmi kullanılarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: CdS, metal katkı, simülasyon program, kırılma indisi

INTRODUCTION

A variety of applications of thin film polycrystalline semiconductors in electronics and optoelectronics technologies have been attracted great interest as well as explored over this industrial area. The optoelectronic property of cadmium sulphide (CdS) makes it very useful material for future applications (Patida et. al., 2006). A polycrystalline device's low production cost is primarily responsible for its technological appeal. In solid state technology and fundamental research, thin films play an increasingly important role. CdS polycrystalline thin film is a representative semiconductor from the II-VI group of periodic tables of elements and it has been significantly studied as a window layer for application of thin film solar cells, due to its wide optical energy band gap of about 2.45 eV, a high electrical resistivity and high transmittance value.

CdS films have four different crystalline orientations. Three of these orientations, hexagonal rock salt, cubic distorted and cubic undistorted rock salt with zinc blended, are the most commonly met (Ziabari and Ghodsi, 2012). Among all these, the hexagonal crystalline structure is the most common and thermodynamically most stable of these changed crystalline orientations. It is possible to obtain a metastable phase of CdS with cubic structure (Rittner and Schulman, 1943). Additionally, it can be said that the cubic structure forms at room temperature. It is thought that CdS is a metastable phase, while hexagonal is a stable, and thermal annealing may often result in a phase formation from cubic to hexagonal structure (AlKhalifah et. al., 2020) The important fact for this formation of phase is understood to be around 300 °C (Zelaya-Angel et. al., 1994) Rock salt phase formation exists only in hydrostatic pressures ranging between 60 and 68 GPa (Ziabari and Ghodsi, 2012). Of these four different crystal orientations, it is evident that the undoped CdS sample exhibits the creation of distinct polymorphic phases (cubic and hexagonal). These phases are polycrystalline structure, and crystallinity of CdS films upsurgers in response to varying annealing temperatures (Xu et. al., 2016). Xu et al. indicated that the main peaks in X-ray diffraction spectra of fabricated CdS film with In doping element can be indexed to the shape of hexagonal phase (Xu et. al., 2016). Kaur et al. (Kaur et. al., 1980) have proved that the homogenous samples with the production of

cubic, hexagonal, or mixed of cubic and hexagonal phases are made of the results of the ion-by-ion method.

Fabrication procedures and related constraints have important impacts on nucleation and growing of samples and their crystallite and optical properties. Various physical and chemical methods including thermal evaporation (Sahay et. al., 2007), sol-gel spin coating (Seon et. al., 2009), the successive ionic layer adsorption and reaction (Sankapal et. al., 2000), MOCVD (Yoon et. al., 2006), electrostatic spray assisted vapor method (Su and Choy, 2000), and ultrasonic spray pyrolysis (Baykul and Balcioglu, 2000) have already been applied to produce such thin films. Ultrasonic spray pyrolysis relies on the thermal breakdown of the solution of source after it is sprayed on the thermally heated surface of substrate. Large-scale deposition of thin films can be achieved by adding elements to aqueous solutions (Bang et. al., 2007). Additionally, there is no need for a vacuum and no need for high-quality targets with this method. By regulating the spray settings, it is simple to manage the film deposition parameters and this technique is used in this work to grown undoped and In doped CdS samples on the soda lime glass because of its ease of use and adaptability. Computation of these applied photovoltaic (PV) parameters of solar cells can be performed by inputting specific physical factors of layers that comprise the solar cell into the SCAPS-1D algorithm. It is well noticed that the characteristics parameters of deposition and production process as well as layers produced, such as donor or acceptor defect densities, interface densities, operating temperatures, etc., have a great influence on the efficiency of layers in solar cells and can be used for performing calculations (Burgelman et. al., 2016; Tripathi et. al., 2020). Researchers can operate more safely and confidently thanks to the useful information these theoretical efficiency calculations for solar cells provide regarding the potential performance of solar cells to be created.

The effects of several factors such as annealing time, thickness of thin film, and metal doping ratio have been examined so far. These deposition parameters have improved the physical properties including crystallite parameters, and optical behavior of obtained films, and this has led the researchers to improve the physical properties of CdS films to be obtained by using doping metals. While the physical

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1377054

characterization of CdS film have been studied by groups (Ashour, 2003; Petrus et. al., 2020; Sahay et al., 2007). SCAPS 1-D calculations of undoped and In:CuO films using USP method to confirm and to calculate the effect of various features on solar cells have not comprehensively been studied. Therefore, both theoretical and experimental calculations are essential to better identify the impact of In-doping on the physical behavior of the undoped CdS film.

MATERIAL AND METHODS

The first of all, the undoped and In doped CdS films have been deposited on SLG substrate using USP method. Before fabrication, SLG as a substrate was washed to ensure high-quality CdS samples on cleaned surface. Five stages were used for substrate cleaning process: For the first step, substrates were boiled for 20 minutes at 120 degrees Celsius in a solution of deionized water (H₂O), ammonia (NH₃), and hydrogen peroxide (H₂O₂), followed by 20 minutes at 120 degrees Celsius in a solution of H₂O, H₂O₂, and hydrochloric acid (HCL). Then, it was ultrasonicated in acetone and distilled water for 3 min, respectively.

After the cleaning process, these substrates dried in N₂ gas. A stoichiometric amount of 0.01M Cd (C₄H₆CdO₄) and 0.01 M thiourea (CH₄N₂S) as sources of cadmium and sulphur ions in distilled water were used to prepare homogenous CdS films due to the environmentally friendly solvent. Indium chloride (InCl₃) was used for In doping with concentration (1, 2, and 3 at % In). Using an ultrasonic nebulizer with a 125 kHz frequency, the prepared solution was atomized onto SLG. The obtained homogenous solution was sprayed using this technique onto substrate heated at around 275 °C at for 30 minutes constantly immovable nozzle–substrate separation of around 9.5 cm. The nozzle of USP was worked at 125 kHz during spraying process. 50 cc of obtained homogenous solution was sprayed onto cleaned SLG about 50 min. Flow metering was used to maintain a 1 mL/min flow rate of solution with N₂ gas being transported to the substrate to avoid oxide formation. The mechanized nozzle of USP was continuously shifted in the x-y directions at 15 mm/s to give homogeneous insurance. Undoped and In:CdS samples were annealed at 500 °C in N₂ to investigate the In doping impact on solar cells parameters.

The structural properties of the obtained film on SLG were achieved using X ray diffractometer (XRD) with Cu α radiation ($\lambda=1.542 \text{ \AA}$). The change in band gap change and absorbance of the obtained samples to investigate the optical properties of samples was determined in UV-Vis spectrophotometer measurement system in the wavelength range of 300–1100 nm. In addition, CdS thin film based solar cell is modelled by SCAPS-1D software. The effects of various contacts i.e. Ni, Ag, Cu, Mo, and Au on the formed solar cells' efficiency have been studied.

RESULTS AND DISCUSSION

Structural Properties

Fig. 1 (a) displays XRD patterns of undoped and In:CdS films compound of II-VI group formed by USP at different doping ratio. The XRD pattern of undoped and In:CdS samples annealed in N₂ ambient at 500 °C reveal polycrystalline nature. Undoped CdS film, annealed at 500 °C, indicates the presence of three peaks around 25.68°, 26.77° and 44.00° corresponding to (100), (002) and (110) planes of both hexagonal and cubic structures. Three main peaks in XRD spectrum for In:CdS clearly demonstrate the polycrystalline character of the material, and their diffraction angles are approximately 25.50°, 26.66°, and 44.00° corresponding to (100), (002), and (110) planes of hexagonal structures, respectively. In all films, the peak about 26.66° shows the most preferred orientation along the (002) plane of structure of hexagonal, indicating its better crystalline nature and suitability for photocatalysis (Gao et al., 2019). Perna et al. (Perna et al., 2004). have indicated that XRD spectra consist of a peak placed at around 26.5° corresponding to the preferred orientation of the pure CdS lattice rising in a hexagonal structure. The intensity of the preferred orientation improved with increasing In concentration and the intensity of all CdS peaks increased as the In concentration ratio of thin films increased and In:CdS peak becomes narrower compared to undoped CdS film. In general, one can conclude that the introduction of In into CdS promotes the crystallization process. Atay et al. (Atay et. al., 2003) have indicated that the angular width value of the peak at the full width at half maximum (FWHM) are increasing and crystallite size (*D*) are decreasing with In doping when compared with undoped CdS sample because of the fact that crystallinity is worsen and a reduction in the (002)

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1377054

plane with a decreased crystallite size value was noted with the In ratio.

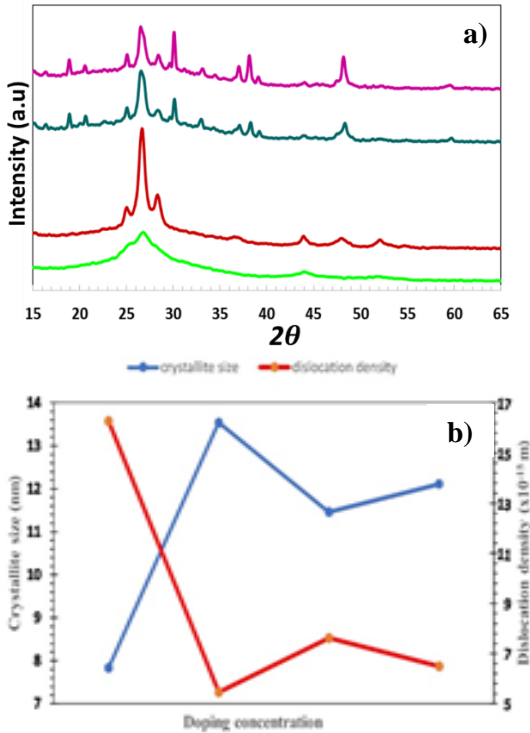


Fig. 1a) XRD pattern and b) Behavior of the In:CdS films' crystallite size and dislocation density

The crystallite size (D) is calculated related to β value using the Debye–Scherrer Formula.

$$D = \frac{0.94\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

where λ is the wavelength of X-Ray output of diffractometer, with $\text{Cu } K\alpha$ radiation ($\lambda=1.542 \text{ \AA}$), θ is the Bragg diffraction angle, β is the FWHM value in radian. The calculated D values of these films are given in previous study and depicted in Fig. 1(b); The calculated grain sizes of (002) growth of CdS film were radically increased as increasing In doping ratio in CdS. It can be said that the crystallite size of undoped CdS film changed with In doping. As In doping ratio increases from 0% to 3%, the diffraction peaks of CdS films become sharper due to the fact that the crystals inosculate more easily and subsequently resulting in larger crystals. The dislocation density value (δ) of these films, which point to the density of defects in the lattice, was determined related to D value via the following calculation:

$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (2)$$

The micro-strain (ϵ) of the films was calculated as follows:

$$\epsilon_{str} = \frac{\beta}{4 \tan \theta} \quad (3)$$

The dislocation density in the film changed related to In doping ratio and seen in table 1. The lowest dislocation density value and highest D value has gained for 3% In:CdS film at 500 °C. Some decrease in the dislocation density of the obtained sample related to In doping gives fixed crystalline structure. The imperfections number in CdS films clearly decreases as In doping increases in Cd solution. Table 1 displays that as D value increases, micro-strain in the obtained samples decreases and this gives a high-quality crystalline films, which was calculated in previous study (Baturay, 2017). In fact, the large number of In atoms does not significantly damage CdS lattice; this confirms its good structural quality. It can be said that micro-strain plays an important role in determination of the physical properties of obtained thin. This increase in the crystallite size may have caused lattice micro-strain that resulted in the decrease observed in the energy band of doped films grown at 500 °C N_2 ambient.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1377054

Table1. Crystallite values of the In:CdS films

Sample	2θ	FWHM	D (Å)	ε
Pure CdS	25.68	3.219	26.5	0.78
	26.77	1.091	82.0	0.27
	44.00	0.984	86.7	0.23
1% In:CdS	25.07	0.38	237.8	0.09
	26.66	0.65	140.0	0.16
	43.93	0.51	187.6	0.12
2% In:CdS	25.07	0.28	117.4	0.07
	26.63	0.77	167.3	0.19
	43.96	0.54	166.3	0.13
3% In:CdS	25.07	0.25	367.1	0.06
	26.61	0.67	134.8	0.16
	44.00	0.18	489.5	0.04

The optical properties of the In:CdS thin film

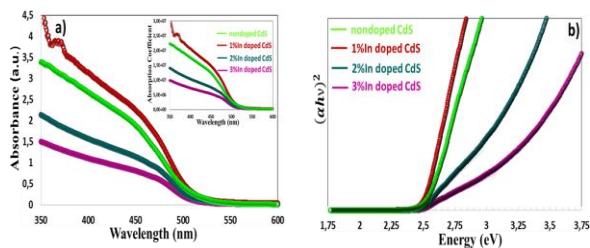


Fig. 2a) The absorbance and **b)** Tauch Plots of In:CdS film

The optical behaviors of the obtained CdS films were comprehensively analyzed to determine the effect of In doping on the energy band gap (E_g) and the absorbance value at room temperature. UV-Vis spectroscopy was used for calculation of these measurements over the wavelength range of 300–1100 nm. In UV-Vis region weren't seen any other peaks. Therefore, it is said that the obtained CdS thin films were uncontaminated, uniform, and of high-quality crystal structure. According to Fig. 3, all of these films show a strong absorption drop at the central absorption band edge as well as weak

absorption value, which is related to electron excitation from the valence band (VB) to the conduction band (CB).

It is the difference in In dopant that causes the observed changes in optical absorption. Another words, it can be understood that the absorbance value of non-doped CdS sample is changed due to the different crystallinity and the roughness (Baturay, 2017). The optical behavior of CdS sample with different In doping were evaluated to investigate the effect of doping ratio on the E_g . UV-Vis spectroscopic measurement system was used for this measurement. Figure 2b shows the optical E_g value of CdS thin samples at room temperature. For such semiconductor materials, optical absorption theory displays the absorption coefficient (α) of the film and incident photon energy ($h\nu$) behaves as follows:

$$ah\nu = A(h\nu - E_g)^n \tag{4}$$

where A is an energy-independent constant related to the material. A graph of $ah\nu^2$ vs. photon energy ($h\nu$) for CdS samples as given in Fig. 2b indicates the effect of In doping on the energy band gap. The calculated E_g value of CdS with In doping from this graph is changed from 2.53 to 2.47 eV, which point to that In doping could be used to adjust the optical E_g value of CdS samples. The following equation (Eq. (5)) is used to calculate the absorption coefficient (α) of the obtained samples (Mustafa, 2013):

$$\alpha = 2.303(A/T) \tag{5}$$

A is absorption and T is thin film thickness. Similar to the absorption spectrum, 1% In doped CdS thin film has shown the highest absorption coefficient, while 3% In doped CdS thin film has presented the lowest. All non-doped and In doped CdS thin films have exhibited some higher absorption coefficients in UV region, as do n-type semiconductors. Accordingly, 2% and 3% In doped CdS thin films offer more ideal optical properties for use as transparent n-type semiconductors in thin film solar cells.

In second generation solar cells, n-type semiconductors must be highly transparent and have low refractive index (n) in order to transmit light directly to p-type absorber semiconductor without more absorption. The refractive index of the non-doped and In doped CdS thin films can be calculated

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1377054

by Moss relation expressed in Eq. (6) (Gezgin and Kiliç, 2022) and have been given in Table 2.

$$E_g n^4 = k \tag{6}$$

where, k , is a constant indicated to 108 eV. According to the values obtained from Moss relation, thin films have low refractive index, and especially the refractive indices of 2% and 3% In doped CdS thin films are even lower than others. The fact that these thin films have a lower absorption coefficient causes their refractive index to be lower.

Table 2. Refractive index, high frequency dielectric constant and static dielectric constant of the non-doped and In:CdS thin films

Samples	E_g (eV)	Moss relation		Herve&Vandamme		Ravindra		Static Dielectric Constant, ϵ_0
		n	ϵ_∞	n	ϵ_∞	n	ϵ_∞	
Nondoped CdS	2.53	2.55	6.53	2.50	6.26	2.01	4.04	10.73
1%Indoped CdS	2.50	2.56	6.57	2.51	6.31	2.03	4.14	10.82
2%Indoped CdS	2.47	2.57	6.61	2.52	6.37	2.06	4.24	10.91
3%Indoped CdS	2.47	2.57	6.61	2.52	6.37	2.06	4.24	10.91

Herve&Vandamme have revealed the relationship between n and E_g using Eq. (7) (Gezgin, 2022).

$$n = \sqrt{1 + \left(\frac{A}{E_g+B}\right)^2} \tag{7}$$

A and B are numerical constants having values of 13.6 eV and 3.4 eV, respectively. According to Table 2, the refractive indices obtained using Moss and Herve&Vandamme relations are very close to each other. Thence, the accuracy of both relations has been ensured. The refractive index increases with decreasing band gap.

Ravindra has used n and E_g in the different relation shown in Eq. (8) and expressed the relationship between them (Ravindra et. al., 2007):

$$n = 4.16 - 0.85E_g \tag{8}$$

As seen in the Table 2, Ravindra's relation has given results in a slightly lower value of refractive index compared to other relations. This is due to the

numerical relationship used in Ravindra relation being slightly less adequate.

The electrical field formed by photo-excited charge carriers formed in the side of the depletion region of solar cell is determined by the dielectric constant of thin films. The high frequency-dielectric constant (ϵ_∞) and the static-dielectric constant (ϵ_0) which were expressed by Eq. (9) and Eq. (10), respectively:

$$\epsilon_\infty = n^2 \tag{9}$$

$$\epsilon_0 = 18.52 - 3.08E_g \tag{10}$$

The high dielectric coefficient prevents the recombination of charges within the semiconductor and allows charges to reach the boundary of the depletion region without undergoing recombination within traps and defects. As seen in Table-2, 2% and 3% In doped CdS thin films indicated higher dielectric constants. The fact that the crystal structures of these thin films are more developed indicates that they have more defects and traps and that the life time of the charge carriers can be longer. This is consistent with their high dielectric constant.

The modelling of Au/CIGS/In doped CdS/i-ZnO/AZO solar cell

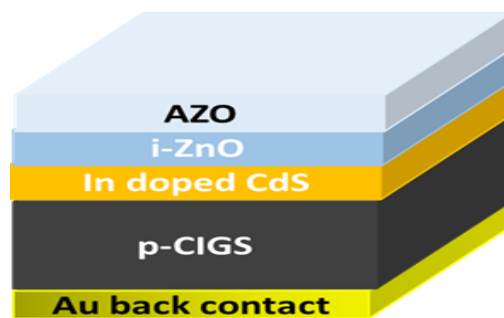


Fig.3. The schematic image of Au/CIGS/In doped CdS/i-ZnO/AZO solar cell modeled with the SCAPS

Possible performances of thin film solar cells consisting of different semiconductor layers can be determined with SCAPS-1D program. PV parameters can be calculated by entering the physical parameters of the layers such as band gap, electron affinity, electron/hole mobility, the shallow donor/acceptor density, etc. into the simulation program (Burgelman et. al., 2016; Tripathi et. al., 2020). 3% In-doped CdS

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1377054

thin film with 2.47 eV band gap is the most ideal semiconductor to be used as a buffer layer in solar cells, with its larger grain size and advanced crystal structure. In this study, the band gap, film thickness, dielectric coefficient and absorption coefficient files of the experimentally produced 3% In doped CdS thin film were entered into the simulation program as input and Au (back contact)/CIGS (absorber)/In doped CdS (buffer) /i-ZnO (window) /AZO (front electrode) solar cell was modelled. PV parameters of the modeled solar cell were calculated depending on the interface neutral defect density, shallow donor defect density, and Auger electron/hole capture coefficient. The physical parameters of the layers forming the modelled In doped CdS/CIGS solar cell are presented in Table 3.

Table 3. The physical parameters of the layers forming the modeled In: CdS/CIGS solar cell

Layers	AZO	i-ZnO	3% In doped CdS	CIGS
Band Gap (eV)	3.3	3.3	2.47	1.15
Electron affinity (eV)	4.6	4.6	4.2	4.6
Dielectric permittivity (relative)	9	9	10.91	13.6
CB effective density of states (cm ⁻³)	2.20x10 ¹⁸	2.20x10 ¹⁸	2.20x10 ¹⁸	2.20x10 ¹⁸
VB effective density of states (cm ⁻³)	1.80x10 ¹⁹	1.80x10 ¹⁹	1.80x10 ¹⁹	1.80x10 ²⁰
Electron/Hole thermal velocity (cm/s)	1.00x10 ⁷	1.00x10 ⁷	1.00x10 ⁷	1.00x10 ⁷
Electron/Hole mobility (cm ² /Vs)	100/25	100/25	100/25	100/25
Shallow donor density (cm ⁻³)	1.00x10 ²⁰	1.00x10 ⁵	0	0
Shallow acceptor density (cm ⁻³)	0	0	1.00x10 ¹⁸	6.5x10 ¹⁶
Thickness (nm)	100	50	350	2000

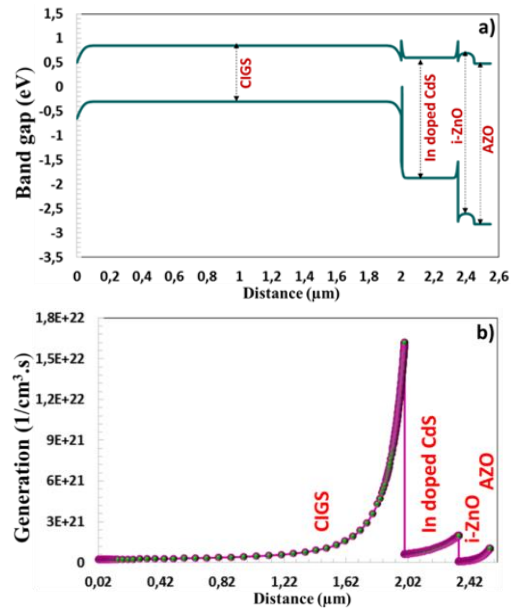


Fig. 4. a) The band gap and b) generation vs distance of CIGS, In:CdS, i-ZnO and AZO

According to the band diagram of solar cell shown in Fig. 4a, spike like conduction band is formed between CIGS and In:CdS semiconductors. The spike like conduction band results in favorable charge transition in the depletion region and prevents the recombination of electron and hole charge carriers in traps and defects near the interface (Gao et. al., 2019; Gansukh et. al., 2020; Ghorbani, 2020). The spectrum in Fig. 4b shows the distance-dependent charge formation in semiconductors. Accordingly, maximum charge generation occurs inside CIGS semiconductor (close to the depletion region). While the charge in 6.05×10^{20} (1/cm³s) formed at the border (2,0001 μm) of the depletion region of In doped CdS, the charge in (2×10^{21} (1/cm³s) occurred in the contact region (2,35 μm) with i-ZnO semiconductor. Since the light comes from the upper region, highly photo-excited charge carriers are formed at the first entrance through In doped CdS the thin film. However, when the In doped CdS thin film is highly transparent, less charge generation occurs at the deflection limit because light is transmitted in higher amounts (Abderrezek and Djeghlal, 2019; Niane et. al., 2018).

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1377054

The photovoltaic properties of CIGS/In doped CdS solar cell based the shallow donor density (N_d) of In doped CdS thin film

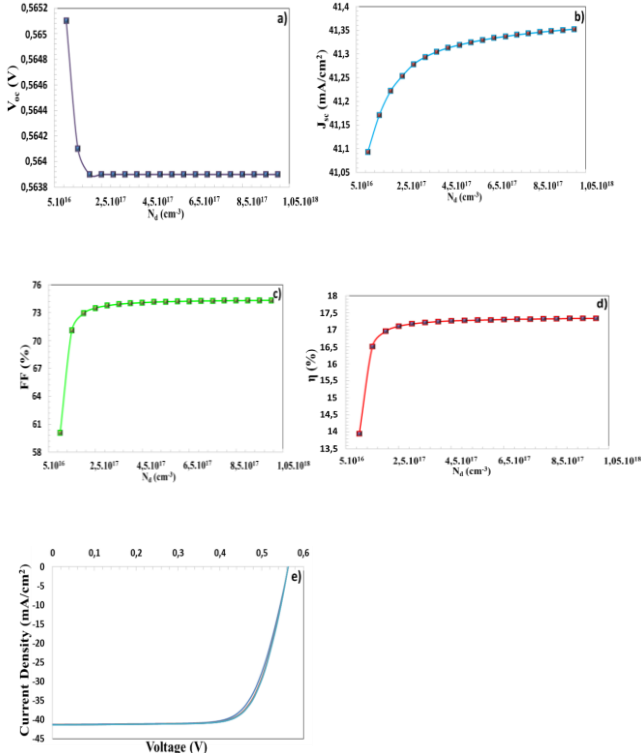


Fig. 5. (a-d) V_{OC} , J_{SC} , FF , η parameters e) $J - V$ characteristics CIGS/In:CdS solar cell vs N_d

The shallow donor defects are a factor that determines the n -type electrical property of the semiconductor. Increasing the shallow donor defect density (N_d) increases the n -type electrical conductivity of thin film and can improve the performance of the solar cell (Candan et. al., 2022). According to graphs represented in Fig. 5a, when N_d was increased from 10^{-17} cm^{-3} to 10^{-18} cm^{-3} , V_{OC} value of solar cell first decreased from 0.565 mV to 0.563 mV and then stabilized. The J_{SC} value showed a parabolic rise, increasing from 41.0936 mA/cm^2 to 41.3522 mA/cm^2 . When N_d value increased from $1 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$ to $1.5 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$, FF and η values enhanced significantly and then increased slightly ($N_d=1.5 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$ to $1 \times 10^{-18} \text{ cm}^{-3}$). This case shows that no significant change was observed in PV parameters of solar cell after $N_d=1.5 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$. According to literature, $N_d = 1.10^{-18} \text{ cm}^{-3}$ is accepted for n -type semiconductor and if this situation is taken as a reference, PV parameters of CIGS/In doped CdS solar cell are $V_{OC}=0.563 \text{ mV}$, $J_{SC}=41.3522 \text{ mA}/\text{cm}^2$, $FF=74.33\%$, $\eta=17.33\%$. In $J - V$ characteristics in

Fig. 5e, there was a slight change in the curve with some rise of N_d .

The photovoltaic properties of CIGS/In:CdS solar cell based the neutral interface defect density

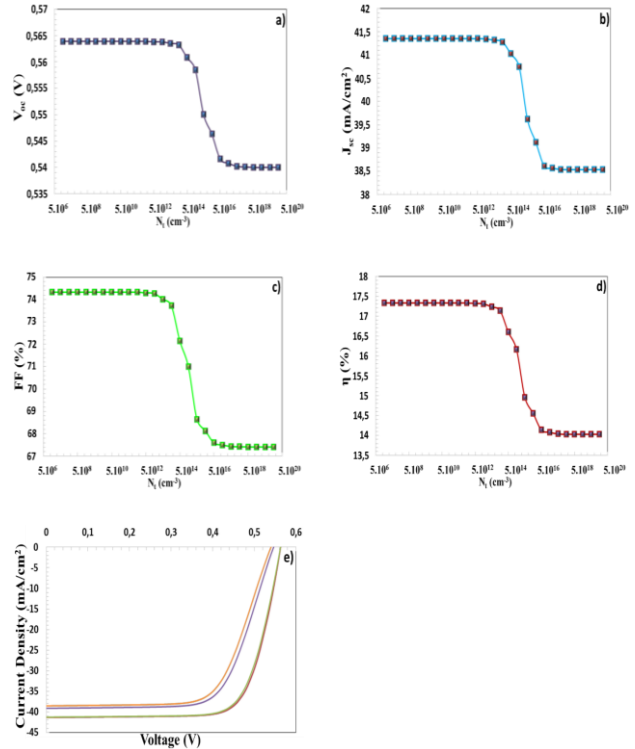


Fig. 6. (a-d) V_{OC} , J_{SC} , FF , η parameters and e) $J - V$ characteristics CIGS/In:CdS solar cell vs N_t

In heterojunction solar cells, defects at the interface in the depletion region cause the recombination of electron and hole charge carriers (Candan et. al., 2023). Properties, mismatch band alignment between p and n -type semiconductors, film resistance of these semiconductors, pinhole formations in the semiconductor and their surface roughness, number of grain boundaries in the film may cause the defects at the interface. These defects, which act as recombination points, cause deterioration in the performance of solar cell (Pindolia et. al., 2022; Srivastava et. al., 1990). For neutral interface defect density; $N_t=1 \times 10^7 \text{ cm}^{-3}$ and $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ and $N_t=1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ and $1 \times 10^{27} \text{ cm}^{-3}$. The parameters of solar cell, are almost constant and the operating performance is not affected. However, as N_t is increased from $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ to $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$, solar cell efficiency drops significantly. This change can also be observed in $J - V$ shown in Fig. 6e.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1377054

Therefore, in order to prevent decrease in the efficiency of solar cell, N_t value should not exceed $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$.

The Auger electron/hole capture coefficient on the photovoltaic properties of CIGS/In: CdS solar cell

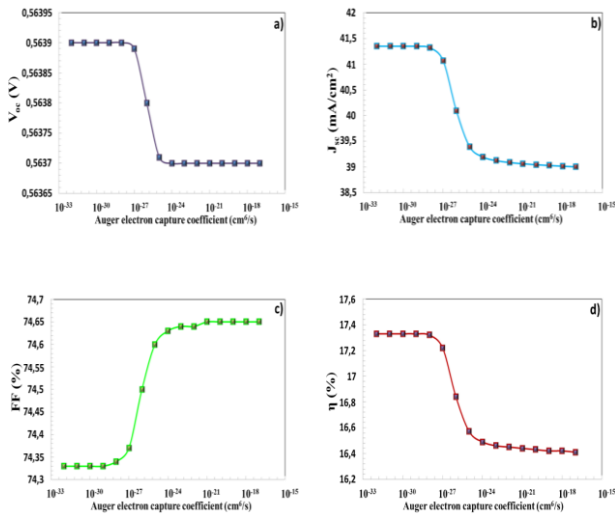


Fig. 7. (a-d) V_{OC} , J_{SC} , FF and η parameters vs Auger electron capture coefficient

Auger capture refers to a non-radiative recombination event (Hausser et. al., 1990; Strauss et. al., 1993). That is, high amounts of energy are released by the recombination of electron and hole charges. Electrons and holes in the same band are excited by this energy and transition to a higher energy level. This event is called as Auger electron/hole capture. While there was no change in the values of PV parameters until Auger electron capture coefficient was $10^{-28} \text{ cm}^6/\text{s}$, there was a noteworthy decrease in V_{OC} , J_{SC} , and FF values after $10^{-27} \text{ cm}^6/\text{s}$. Auger electron capture coefficient of In-doped CdS semiconductor, which has an electron majority charge carrier, is quite low and should not exceed $10^{-27} \text{ cm}^6/\text{s}$ to avoid a decrease in efficiency of the solar cell.

In-doped CdS thin film, which has a hole minority charge carrier, has a higher Auger hole capture coefficient as seen in Fig. 8. There was a significant decrease in V_{OC} , J_{SC} , and η parameters between $10^{-20} \text{ cm}^6/\text{s}$ and $10^{-16} \text{ cm}^6/\text{s}$. Therefore, as long as Auger hole capture coefficient does not exceed $10^{-20} \text{ cm}^6/\text{s}$, there will be no decrease in the efficiency of the solar cell.

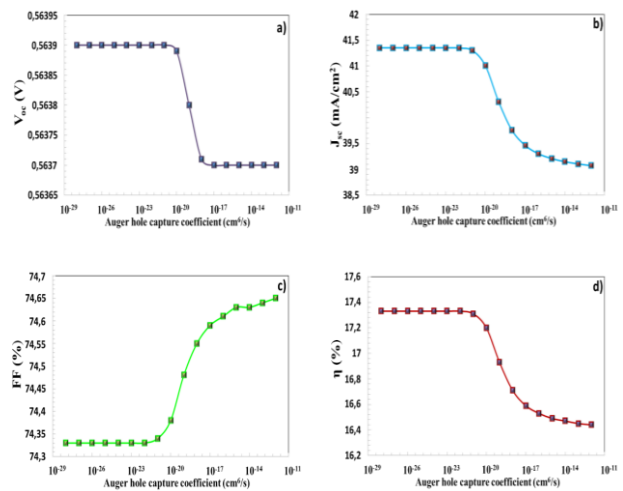


Fig. 8. (a-d) V_{OC} , J_{SC} , FF, η parameters vs Auger hole capture coefficient

CONCLUSION

The pure and 1%, 2% and 3% In doped CdS thin film was produced by spray pyrolysis method. The doped In element increased the grain size of CdS thin film reduces the band gap and improved its crystal structure. Using Moss and Herve&Vandamme and Ravindra relations, the refractive indices and dielectric coefficients of semiconductors were calculated. With decreasing band gap, the refractive index and dielectric coefficients increases. 3% In-doped CdS thin film in 2.47 eV band gap that is the most ideal semiconductor to be used as a buffer layer in solar cells, with its larger grain size and advanced crystal structure. Mo/CIGS/In doped CdS/i-ZnO/AZO solar cell was modeled with the SCAPS-1D program using an experimentally obtained physical parameters of 3% In doped CdS semiconductor. PV parameters of this solar cell were calculated depending on the neutral interface defect density, the donor defect density and Auger electron/hole capture coefficient. As a result, PV parameters of the optimized solar cell were determined as $V_{OC}=0.563 \text{ mV}$, $J_{SC}=41.3522$, $FF=74.33\%$ and $\eta=17.33\%$.

ACKNOWLEDGMENT

Authors would kindly like to thank to Selcuk University, Scientific Research Projects (BAP) Coordination Office for the support with the number 15201070 and 19401140 projects

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1377054

Selçuk University, High Technology Research and Application Center (İL-TEK) and SULTAN Center for infrastructures

Dr. Marc Burgelman's group, University of Gent, Belgium for providing permission for us to use SCAPS-1D simulation program.

CONFLICT OF INTEREST

The Authors report no conflict of interest relevant to this article.

RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The authors declare that this study complies with research and publication ethics.

REFERENCES

- Abderrezek, M. and Djeghlal, M. E. (2019). Contribution to improve the performances of $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ thin-film solar cell via a back surface field layer. *Optik*, 181, 220-230.
- Al-Douri, Y., Khasawneh, Q., Kiwan, S., Hashim, U., Abd Hamid, S. B., Reshak, A. H., Bouhemadou, A., Ameri, M. and Khenata, R. (2014). Structural and optical insights to enhance solar cell performance of CdS nanostructures. *Energy Conversion and Management*, 82, 238-243.
- AlKhalifah, M. S., El Radaf, I. M. and El-Bana, M. S. (2020). New window layer of $\text{Cu}_2\text{CdSn}_3\text{S}_8$ for thin film solar cells. *Journal of Alloys and Compounds*, 813, 152169.
- Ashour, A. (2003). Physical properties of spray pyrolysed CdS thin films. *Turkish Journal of Physics*, 27(6), 551-558.
- Atay, F., Bilgin, V., Akyuz, I. and Kose, S. (2003). The effect of In doping on some physical properties of CdS films. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 6(4), 197-203.
- Bang, J. H., Han, K., Skrabalak, S. E., Kim, H. and Suslick, K. S. (2007). Porous carbon supports prepared by ultrasonic spray pyrolysis for direct methanol fuel cell electrodes. *The Journal of Physical Chemistry C*, 111(29), 10959-10964.
- Baturay, Ş. (2017). Indium doping on the structural, surface and optical properties of CdS thin films prepared by ultrasonic spray pyrolysis method. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 264-274.
- Baykul, M. C. and Balcioglu, A. (2000). AFM and SEM studies of CdS thin films produced by an ultrasonic spray pyrolysis method. *Microelectronic Engineering*, 51, 703-713.
- Burgelman, M., Decock, K., Niemegeers, A., Verschraegen, J. and Degrave, S. (2016). SCAPS manual. University of Ghent: Ghent, Belgium.
- Candan, I., Gezgin, S. Y., Baturay, S. and Kılıç, H.S. (2023). Production of Cu_2SnS_3 thin films depending on the sulphur flow rate and annealing temperature time. *Journal Of Optoelectronics and Advanced Materials*, 25(3-4), 191-202.
- Candan, I., Gezgin, S. Y., Baturay, S. and Kilic, H. S. (2022). Structural, Morphological, Optical Properties and Modelling of Ag Doped CuO/ZnO/AZO Solar Cell. *Journal of Coating Science and Technology*, 9, 26-37.
- Gansukh, M., Li, Z., Rodriguez, M. E., Engberg, S., Martinho, F. M. A., Mariño, S. L., Stamate, E., Schou, J., Hansen, O. and Canulescu, S. (2020). Energy band alignment at the heterointerface between CdS and Ag-alloyed CZTS. *Scientific Reports*, 10(1), 18388.
- Gao, H., Wang, F., Wang, S., Wang, X., Yi, Z. and Yang, H. (2019). Photocatalytic activity tuning in a novel $\text{Ag}_2\text{S/CQDs/CuBi}_2\text{O}_4$ composite: Synthesis and photocatalytic mechanism. *Materials Research Bulletin*, 115, 140-149.
- Gezgin, S. Y. (2022). Modelling and investigation of the electrical properties of CIGS/*n*-Si heterojunction solar cells. *Optical Materials*, 131, 112738.
- Gezgin, S. Y. and Kiliç, H. Ş. (2022). The Effect of Ag and Au Contacts on the Efficiency of CZTS/*n*-Si Solar Cell: The Confirmation of Experimental and Theoretical Results by SCAPS Simulation. *Brazilian Journal of Physics*, 52(4), 148.
- Ghorbani, E. (2020). On efficiency of earth-abundant chalcogenide photovoltaic materials buffered with CdS: the limiting effect of band alignment. *Journal of Physics: Energy*, 2(2), 025002.
- Hausser, S., Fuchs, G., Hangleiter, A., Streubel, K. and Tsang, W. T. (1990). Auger recombination in bulk and quantum well InGaAs. *Applied physics letters*, 56(10), 913-915.
- Kaur, I., Pandya, D. K. and Chopra, K. L. (1980). Growth kinetics and polymorphism of chemically deposited CdS films. *Journal of the Electrochemical Society*, 127(4), 943.
- Mustafa, F. A. (2013). Optical properties of NaI doped polyvinyl alcohol films. *Physical Sciences Research International*, 1(1), 1-9.
- Niane, D., Diagne, O., Ehemba, A. K., Soce, M. M. and Dieng, M. (2018). Generation and Recombination of a CIGSe Solar Cell under the Influence of the Thickness of a Potassium Fluoride (KF) Layer. *American Journal of Materials Science and Engineering*, 6(2), 26-30.
- Patidar, D., Sharma, R., Jain, N., Sharma, T. P. and Saxena, N. S. (2006). Optical properties of CdS sintered film. *Bulletin of Materials Science*, 29, 21-24.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1377054

- Perna, G., Capozzi, V., Ambrico, M., Augelli, V., Ligonzo, T., Minafra, A., Schiavulli, L. and Pallara, M. (2004). Structural and optical characterization of undoped and indium-doped CdS films grown by pulsed laser deposition. *Thin Solid Films*, 453, 187-194.
- Petrus, R. Y., Ilchuk, H. A., Kashuba, A. I., Semkiv, I. V., Zmiiiovska, E. O. and Honchar, F. M. (2020). Optical properties of CdS thin films. *Journal of Applied Spectroscopy*, 87, 35-40.
- Pindolia, G., Shinde, S. M. and Jha, P. K. (2022). Optimization of an inorganic lead free RbGeI₃ based perovskite solar cell by SCAPS-1D simulation. *Solar Energy*, 236, 802-821.
- Ravindra, N. M., Ganapathy, P. and Choi, J. (2007). Energy gap–refractive index relations in semiconductors—An overview. *Infrared physics & technology*, 50(1), 21-29.
- Rittner, E. S. and Schulman, J. H. (1943). Studies on the Coprecipitation of Cadmium and Mercuric Sulfides. *The Journal of Physical Chemistry*, 47(8), 537-543.
- Sahay, P. P., Nath, R. K. and Tewari, S. (2007). Optical properties of thermally evaporated CdS thin films. *Crystal Research and Technology: Journal of Experimental and Industrial Crystallography*, 42(3), 275-280.
- Sankapal, B. R., Mane, R. S. and Lokhande, C. D. (2000). Deposition of CdS thin films by the successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method. *Materials research bulletin*, 35(2), 177-184.
- Seon, J.-B., Lee, S., Kim, J. M. and Jeong, H.-D. (2009). Spin-coated CdS thin films for n-channel thin film transistors. *Chemistry of Materials*, 21(4), 604-611.
- Srivastava, A., Dua, P., Lenka, T. R. and Tripathy, S. K. (2021). Numerical simulations on CZTS/CZTSe based solar cell with ZnSe as an alternative buffer layer using SCAPS-1D. *Materials Today: Proceedings*, 43, 3735-3739.
- Strauss, U., Rühle, W. W. and Köhler, K. (1993). Auger recombination in intrinsic GaAs. *Applied Physics Letters*, 62(1), 55-57.
- Su, B. and Choy, K. L. (2000). Microstructure and properties of the CdS thin films prepared by electrostatic spray assisted vapour deposition (ESAVD) method. *Thin Solid Films*, 359(2), 160-164.
- Tripathi, S., Lohia, P. and Dwivedi, D. K. (2020). Contribution to sustainable and environmentally friendly non-toxic CZTS solar cell with an innovative hybrid buffer layer. *Solar Energy*, 204, 748-760.
- Xu, J., Quan, S., Zou, Z., Guo, P., Lu, Y., Yan, H. and Luo, Y. (2016). Color-tunable photoluminescence from In-doped CdS nanowires. *Chemical Physics Letters*, 652, 216-219.
- Yoon, S. H., Lee, S. S., Seo, K. W. and Shim, I. (2006). Preparation of CdS thin films through MOCVD method, using Cd-S single-source precursors. *Bulletin-Korean Chemical Society*, 27(12), 2071.
- Zelaya, A.O., Alvarado-Gil, J. J., Lozada-Morales, R., Vargas, H. and Ferreira da Silva, A. (1994). Band-gap shift in CdS semiconductor by photoacoustic spectroscopy: Evidence of a cubic to hexagonal lattice transition. *Applied Physics Letters*, 64(3), 291-293.
- Ziabari, A.A. and Ghodsi, F. E. (2012). Growth, characterization and studying of sol-gel derived CdS nanocrystalline thin films incorporated in polyethyleneglycol: Effects of post-heat treatment. *Solar energy materials and solar cells*, 105, 249-262.

Tunceli (Pertek ve Çemişgezek) ile Elazığ (Keban ve Sivrice) İlçelerinde Balık Tüketim Alışkanlıklarının Araştırılması ve Karşılaştırılması

Muhammet Kürşat Durna¹, Engin Şeker², Nermin Karaton Kuzgun^{3*}

¹Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yüksek Mühendis, Tunceli, Türkiye

²Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Tunceli, Türkiye

³Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Tunceli, Türkiye

mkdurna06@outlook.com^{ID}, enginseker@munzur.edu.tr^{ID}, *nerminkaraton@hotmail.com^{ID}

Makale gönderme tarihi:04.10.2023, Makale kabul tarihi:28.12.2023

Öz

Bu araştırma, Elazığ ili Keban ve Sivrice ilçeleri ile Tunceli ilinin Pertek ve Çemişgezek ilçelerinin balık tüketim alışkanlıklarını tespit etmek için yapılmıştır. Bu araştırma, anket uygulaması ile yapılmıştır. Anketler, 2021 yılının Nisan-Haziran aylarında yüz yüze görüşme ve online anket metoduyla yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, bu çalışmanın katılımcıları en çok Pertek ilçesinden, en az Çemişgezek, ilçesinde bulunan katılımcılardan oluşmuştur. Ankete katılan katılımcıların en çok kesimi kırmızı eti, en az kesimi balık etini tercih ettikleri tespit edilmiştir. En fazla balık tüketimi, Pertek ve Keban ilinde olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Balık, tüketim tercihi, anket

The Research and Comparison of Fish Habits of Consumption in Tunceli (Pertek and Çemişgezek) and Elazığ (Keban and Sivrice) Districts

Abstract

This research was carried out to determine the fish consumption habits of Elazığ province's Keban and Sivrice districts and Tunceli province's Pertek and Çemişgezek districts. This study was conducted in 2021 using a questionnaire. The surveys were conducted using interviews methods with online and face-to-face on April-June month of 2021 year. According to the research results, the participants of this study were the most in Pertek district, the least in Çemişgezek district. It was determined that the participants in the study preferred the most red meat, the least fish meat. It was observed that the highest fish consumption was in Pertek and Keban districts.

Keywords: Fish, habits of consumption, questionnaire

GİRİŞ

Sağlıklı bir yaşam sağlayabilmek, beyinsel, zihinsel ve büyüme faaliyetlerin sürdürülebilirliği ve dengeli beslenme ile ilişkilidir. Beslenme; yaşamın sağlıklı, büyüme, gelişme, başarılı ve mutlu bir şekilde sürdürülebilmesi için en temel yapı taşlarından biridir (Özden ve ark., 2008; Karaton Kuzgun ve Kırbağ, 2020). Beslenme ve sağlık kavramları birbirlerini tamamlayıcı niteliğe sahip konulardır. İnsanların dengeli ve yeterli beslenmeleri için gerekli olan protein, enerji, mineral ve vitamin gibi ihtiyaçlarının karşılanmasında hayvansal gıdalar ön sıralarda gelmektedir. Bu hususta en önemli hayvansal gıdalardan biri olan su ürünleri, dünyanın

çoğu yerinde geçmişten günümüze kadar insan beslenmesinin çok kıymetli bir hayvansal kaynaklı protein olarak değerini korumaya devam etmektedir (Sarica, 2003). Balık, insan vücudu için gerekli neredeyse tüm gerekli besin kaynaklarını en uygun oranda ve miktar içermektedir. Ayrıca balık, dengesiz ve yetersiz beslenme meselesinin çözümlenebilmesinde önemli bir şekilde durulması gerekli hayvansal protein kaynaklarından birini teşkil etmektedir (Varlık ve ark., 2004). Ülkemizin hayvansal protein ihtiyacını karşılayabilecek balık kaynakları bakımından zengin olmasına karşın, halkımızda su ürünleri tüketim alışkanlığı yaygın

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1364307

olmadığı için ülkemiz bu kaynakları yeterli anlamda kullanamamaktadır. Genel anlamda da Türkiye’de kişi başı balık tüketim miktarları gelişmiş ülkelerin oldukça gerisindedir. Dünya toplam su ürünleri üretimi 2020 yılında 177.768.543 ton olarak gerçekleşmiş olup bu oran Türkiye’de aynı yıl 785.822 ton olarak belirlenmiştir (FAO, 2022). Dünya’da ortalama olarak balık tüketim oranı kişi başı 20,5 kg/yıl olarak 2019 yılında belirlenmiştir (FAO, 2022). Türkiye’de kişi başına balık tüketimi 2000 yılında 8 kg iken bu rakam 2020 yılında 6,7 kg seviyesine gerilemiştir (TÜİK, 2022). Balık tüketimi ile ilgili ülkemizde pek çok il ile ilgili araştırma mevcuttur (Yüksel ve ark., 2011; Aydın ve Karadurmuş, 2013; Balcı ve ark., 2016; Olgunoğlu ve ark., 2014; Çiçek ve ark., 2014; Yıldırım, 2020; Saka ve Bulut, 2020; Güler ve ark., 2021).

Sağlık bakımından oldukça büyük öneme sahip olan balığın tüketim miktarlarının artırılması üzerine yapılacak araştırmalar gelecek nesiller üzerinde pozitif yönde etkileşim olacağı bir gerçektir. Bu araştırma da balık tüketim miktarının Tunceli ilindeki Pertek ve Çemişgezek ilçeleri, Elazığ ili Keban ve Sivrice ilçeleri üzerindeki etkisinin ne düzeyde olduğunu belirlemek amacıyla yapılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Araştırma, Elazığ ili Keban ve Sivrice ilçesinde, Tunceli ili Pertek ve Çemişgezek ilçesinde tüketicilerden anket yoluyla elde edilen verilerden oluşmaktadır. İlçeler de yaşayan tüketicilere uygulanan ankette sunulan balık tüketimi konularını içeren 41 soru sorulmuştur. Anketler, 2021 yılının Nisan-Haziran aylarında yüz yüze görüşme ve online anket metoduyla yapılmıştır. Bu araştırma nicel yöntem ile tasarlanmış olup, tekil tarama modelinin benimsendiği bir araştırmadır.

Anket Sahası

Anket sahası Tunceli ilinin Pertek ve Çemişgezek ilçeleri ve Elazığ ilinin Keban ile Sivrice ilçeleridir. İlçelerde bulunan devlet kurumları ve özel ticarethanelerde anket çalışması yüz yüze ve online anket formu kullanılarak tüketicilere ulaşımları sağlanmıştır. Anket sahasımız yüz yüze anket metoduyla ilçe merkezlerini kapsarken online anket metoduyla ilçenin tamamını kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Anket soruları oluşturulduktan sonra çalışmaya konu olan ilçelerin merkezlerinde ve köylerinde su

ürünlerinin tüketimi araştırılmaya başlanmıştır ve ankete katılım ilçe nüfusları baz alındığında beklenen sayıdan fazla olduğu da anlaşılmaktadır.

Anket Formunun Hazırlanması ve Uygulanması

Anket iki bölüm ve toplam 22 sorudan oluşturulmuştur. Birinci bölümde bireylerin demografik özelliklerine ilişkin 14 soru yer almıştır. İkinci bölümde ise balık tüketim eğilimlerini tespitine yönelik 33 soru yer almıştır. Balık ve balık ürünleri tüketimine ilişkin açık ve kapalı uçlu sorular içeren ve anketi yanıtlayan kişilerin demografik özelliklerini (cinsiyet, yaş, il, ilçe, aylık bireysel gelir durumu ve ailenin sosyo-ekonomik göstergeler) belirlenmesi amacıyla; ikinci bölümde anketörlerin tüketim alışkanlıklarını tespit etmeye yönelik sorular kullanılmıştır.

Elde edilen Verilerin Değerlendirilmesi

Bu çalışmadan elde edilen değerler SPSS®22 istatistiksel olarak bilgisayar paket programında değerlendirmeye alınmıştır. SPSS paket programında frekans dağılımları alınarak çapraz ve frekans tablolar meydana getirilmiştir. Kategorideki veriler arasında ki ilişkinin anlamlı olup olmadığının tespiti için Ki-kare Bağımsızlık Testi (Çapraz tablo analizi) gerçekleştirilmiş ve istatistiksel anlam düzeyi $p < 0,05$ olanlar anlamlı olarak kabul edilmiştir (Özdamar, 2001).

BULGULAR

Demografik özellikler, hane halkının ve bireysel tüketicilerin objektif belirleyicileridir. Ürün piyasaları, tüketicinin demografik karakterlerinin doğrudan etkilemekte ve bu özelliklerin her biri hedeflenen pazarın belirlenmesinde kullanılmaktadır (Asseal, 1992). Tablo 1 incelendiğinde, araştırmamızda 500 katılımcı tüm sorulara cevap vermiştir (Soruların bir kısmına cevap veren katılımcı sayısı ise 950 kişidir) ve bu katılımcıların %48,8’i erkek, %51,2’si kadınlardan oluşmaktadır. Çalışmada katılımcıların %64’ü bekâr, %35,5’i evlilerden oluşmaktadır.

Besin değeri açısından oldukça yüksek değerlere sahip olan balığın kırmızı etten daha sağlıklı olduğunu bilmekteyiz. Su ürünlerini hangi sıklıkla tükettiklerini sordüğümüzda aldığımız cevaplar ise şöyledir (Şekil 11); %41,9’u ayda yalnızca bir defa balık tüketmekte, %12,9’u ise

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1364307

haftada bir defa balık tüketmekte olduğu şeklinde cevaplar alınmıştır. Bu verilerle yapılan araştırmada sosyo-kültürel yapının balık tüketimini etkilemekte olduğunu aileden gelen yeme kültüründe balığın çok fazla tüketim kaynağı olarak yer almamakta olduğunu göstermektedir. Katılımcılara yönelttiğimiz bir diğer soru ise; Su ürünlerinin temin edildiği yerler hakkındaki cevapların yüzde oranları Şekil 12’de sunulmuştur. Buna göre cevaplar sırasıyla şöyle olmuştur; %40’ı balık hallerinden, %26’sı üreticilerden, %24’ü marketlerden temin edilmektedir. Katılımcılara yönelttiğimiz balık avlıyor musunuz sorusuna %77’lik bir kısım hayır olarak yanıt vermekte ve %10’luk bir kesim sadece evet olarak cevap vermişlerdir (Şekil 13). Bu veriler ışığında hobi olarak yapılan balık avcılığının çok az olduğu anlaşılmaktadır. Bunun için yapılabilecekler gerekli tanıtım ve reklamın yapılması ve adayların gerekli eğitim ile donatıldıktan sonra bölgede hobi balıkçılığının artışa teşvik edileceği ile gerçekleşmesi kaçınılmaz bir olgudur. Ankete cevap veren katılımcılara sorulan bir diğer soru ise ‘Balığın taze olduğunu nasıl anlarsınız?’ sorusuydu. Verilen cevaplara göre %40’lık bir kesim solungaçlarına

baktığını, %23’lük bir kısmı bilmediğini, %13’lük kısım ise derisine parmağını bastırarak derinin elastikiyetini kontrol ettiğini belirtmiş ve %24’ü ise satıcının beyanının yeterli olduğunu belirtmiştir (Şekil 14). Şekil 15’de görüldüğü gibi bayanlarda hamilelik döneminde; %47’si balık tüketmediğini, %20’si ayda bir, %20’si ayda iki veya daha fazla, %13’ü ise haftada bir balık tükettiğini bildirmiştir. Şekil 16’de bayanların emzirme süreci içerisinde %40’ı ayda bir veya iki, %20’si yılda bir veya iki olurken %40’ı balık tüketmediğini bildirmiştir. Şekil 17’de yer aldığı gibi, katılımcıların %60’ı balık avcılığını farklı yöntemlerle yaparken, %26,7’si olta ile balık avladığını, %13,3’ü ise ağ kullanarak balık avcılığı yaptığını bildirmiştir. Şekil 18’de katılımcıların ilçenizde su ürünleri tüketiminin artırılmasına yönelik bir öneriniz var mı? sorusuna %50’si tanıtımının yapılması, %25’i faydalarının anlatılması ve %25’ise fiyatlarının ucuz olması şeklinde cevap vermişlerdir.

Tablo 1. Demografik özelliklerin balık tüketimine etkisi

Demografik özellikler			Su ürünleri (Balık) tüketimi
CİNSİYET	ERKEK	244	%48,8
	KADIN	256	%51,2
MEDENİ DURUM	EVLİ	98	%62
	BEKÂR	101	%28
YAŞ GRUBU	18-24	104	%40
	25-31	111	%15
	32-38	102	%25
	39-45	87	%10
	46-55	93	%12

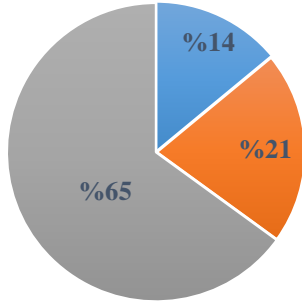
Çalışmada et tüketim alışkanlığı incelendiğinde; katılımcıların %14’ü yalnızca balık, %21’si yalnızca kanatlı hayvanlar, %65’i yalnızca kırmızı et tükettiklerini belirtmişlerdir. Şekil 2. de görüldüğü gibi, anketörlerin ilçelere göre katılım düzeyini incelendiğinde, Pertek ilçesinin katılım oranı %45; Çemişgezek ilçesinin katılım oranı %15; Sivrice ilçesinin katılım oran %20, Keban ilçesinin katılım oranı %20; olup katılım oranları belirlenmiştir. Şekil 3 incelendiğinde, katılımcıların ailelerinin birey sayıları incelendiğinde %35,5’i dört kişilik ailede yaşarken, %25,8’i üç kişilik ailede yaşamakta,

%12,9’u iki kişi ile yaşamakta olup %16,1’i ise altı kişilik ailede yaşamaktadır. Şekil 4’de katılımcıların yaş durumu incelendiğinde %28’i 45-60 yaş aralığında, %24’ü 35-45 yaş aralığında, %16’sı 25-35 yaş aralığında, %12’si 15-25 yaş aralığında, %12’si 12-15 yaş aralığında ve %8’i 65 yaş ve üzeri olduğu belirlenmiştir. Şekil 5’de belirtildiği gibi, katılımcıların gelir düzeyini incelediğimizde yüksek bir kitlenin (%61 ile) gelir düzeyinin nispeten yüksek oranlara sahip olduğu anlaşılmakta gelir düzeyi daha dar olan kitlenin ise azınlıkta olduğu

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1364307

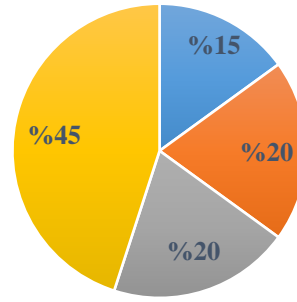
belirlenmiştir. Şekil 6'da katılımcıların %46,4'ü öğrenci, %28,6'sı memur, %14,3'ü mühendis ve geriye kalanı ise serbest meslek olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5). $P(\chi^2 > 0.000) = 285$ ve $H=1$ olarak kabul edilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, katılımcıların en çok tükettiği kabuklu-yumuşakça su ürünlerinden %58 midye, %26 kalamar, %11 ıstakoz ve %5 ile yengeç tüketimi gözlemlenmiştir. İstatiksel açıdan önemli bir farklılık tespit edilmiştir ($p > 0,05$). Şekil 8 incelendiğinde, katılımcıların ailelerinde su ürünleri sektöründe çalışan aile bireyi var mı? sorusu yöneltilmiş ve %74 hayır, ve %26 ise evet cevabını vermiştir İstatistiksel açıdan önemli bir

fark bulunmuştur. ($p > 0,05$). Şekil 9'da, katılımcıların su ürünleriyle ilgili araştırmalarının durumu incelendiğinde %50'sinin evet araştırmalarını oldu, %36'sının gıda bazlı araştırmalarını olduğu, %14'ü ise avlanma becerisini geliştirmek için araştırma yaptığı gözlemlenmiştir. Balıkentinin tüketim şeklinin yönetildiği soruya aldığımız cevaplar ise şöyledir. (Şekil 10); %42'i kızartma yaparak, %22'si mangal yaparak balıkentinin tükettiğini belirtmiş olup %29'u ise ızgara yaparak balıkentinin tükettiğini beyan etmektedir.



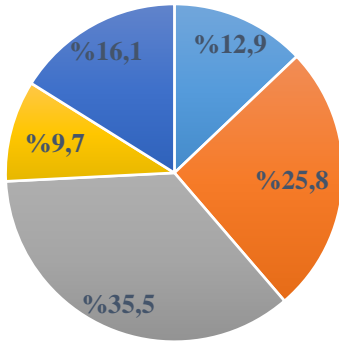
■ Balık ■ Kanatlı hayvanlar ■ Kırmızı et

Şekil 1. Katılımcıların Et tüketim tercihi



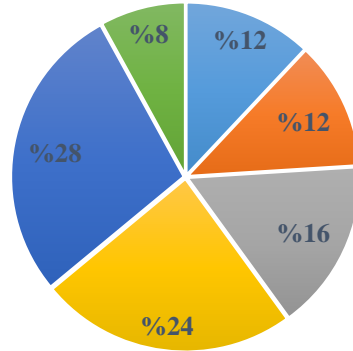
■ Çemişgezek ■ Keban ■ Sivrice ■ Pertek

Şekil 2. Katılımcıların ilçelere göre katılım oranı



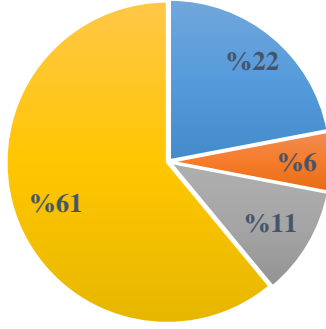
■ İki ■ Üç ■ Dört ■ Beş ■ Altı

Şekil 3. Katılımcıların ailelerinin birey sayısı



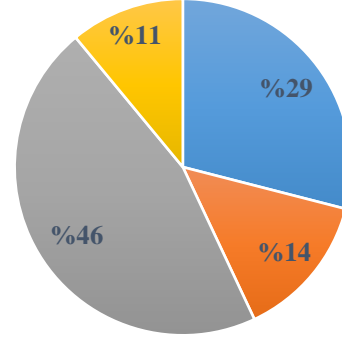
■ 12--15 ■ 15-25 ■ 25-35 ■ 35-45 ■ 45-60 ■ 65 ve üzeri

Şekil 4. Katılımcıların yaş durumu



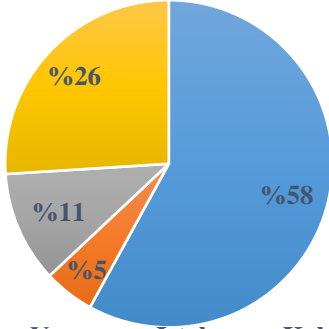
■ 2000-3000 ■ 3000-4500 ■ 4500-6000 ■ 6000 ve üzeri

Şekil 5. Katılımcıların gelir düzeyi



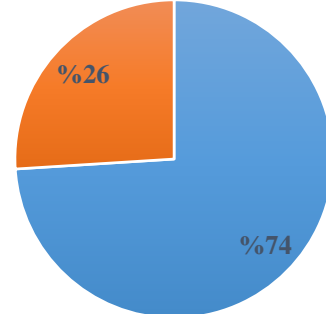
■ Memur ■ Mühendis ■ Öğrenci ■ Serbest Meslek

Şekil 6. Katılımcıların meslek bilgileri



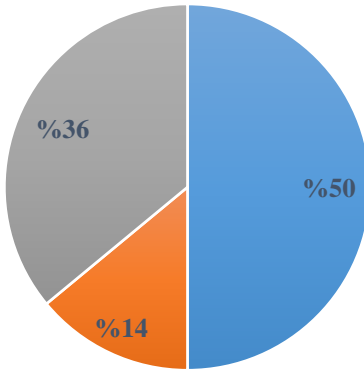
■ Midye ■ Yengeç ■ Istakoz ■ Kalamar

Şekil 7. En çok tüketilen Kabuklu-Yumuşakça su ürünleri



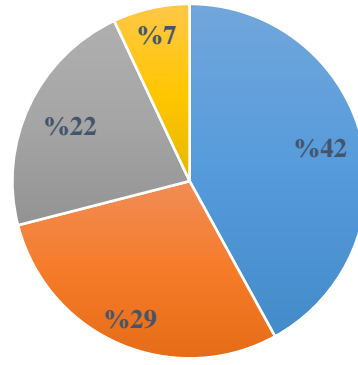
■ Evet ■ Hayır

Şekil 8. Katılımcıların ailelerinde su ürünleri sektöründe çalışan bir birey var mı?



■ Evet araştırmalarım oldu
■ Avlanma becerimi geliştirmek için araştırma yaptım
■ Gıda bazlı araştırmalarım oldu

Şekil 9. Katılımcıların su ürünleriyle ilgili daha önce bir araştırması oldu mu?



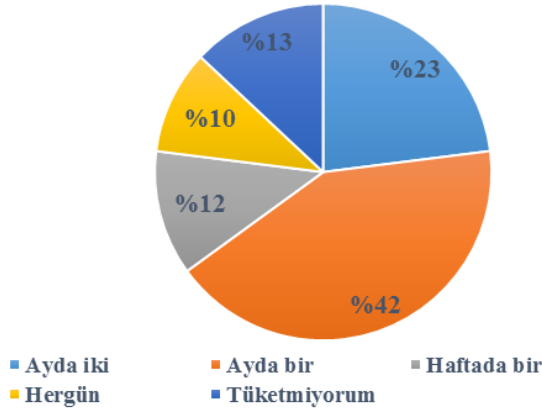
■ Tuzlama ■ Izgara ■ Mangal ■ Konserve

Şekil 10. Su ürünleri tüketim tercihi

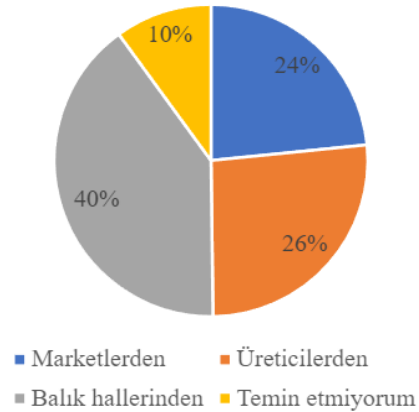
Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1364307

Besin değeri açısından oldukça yüksek değerlere sahip olan balığın kırmızı etten daha sağlıklı olduğunu bilmekteyiz. Su ürünlerini hangi sıklıkla tükettiklerini sorduğumuzda aldığımız cevaplar ise şöyledir (Şekil 11); %41,9'u ayda yalnızca bir defa balık tüketmekte, %12,9'u ise haftada bir defa balık tüketmekte olduğu şeklinde cevaplar alınmıştır. Bu verilerle yapılan araştırmada sosyo-kültürel yapının balık tüketimini etkilemekte olduğunu aileden gelen yeme kültüründe balığın çok fazla tüketim kaynağı olarak yer almamakta olduğunu göstermektedir. Katılımcılara yönelttiğimiz bir diğer soru ise; su ürünlerinin temin edildiği yerler hakkındaki cevapların yüzde oranları Şekil 12'de sunulmuştur. Buna göre cevaplar sırasıyla şöyle olmuştur; %40'ı balık hallerinden, %26'sı üreticilerden, %24'ü marketlerden temin edilmektedir. Katılımcılara yönelttiğimiz balık avlıyor musunuz sorusuna %77'lik bir kısım hayır olarak yanıt vermekte ve %10'luk bir kesim sadece evet olarak cevap vermişlerdir (Şekil 13). Bu veriler ışığında hobi olarak yapılan balık avcılığının çok az olduğu anlaşılmaktadır. Bunun için yapılabilecekler gerekli tanıtım ve reklamın yapılması ve adayların gerekli eğitim ile donatıldıktan sonra bölgede hobi balıkçılığının artışa teşvik edileceği ile

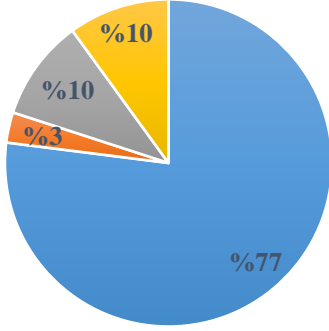
gerçekleşmesi kaçınılmaz bir olgudur. Ankete cevap veren katılımcılara sorulan bir diğer soru ise 'Balığın taze olduğunu nasıl anlarsınız?' sorusuydu. Verilen cevaplara göre %40'lık bir kesim solungaçlarına baktığını, %23'lük bir kısmı bilmediğini, %13'lük kısım ise derisine parmağını bastırarak derinin elastikiyetini kontrol ettiğini belirtmiş ve %24'ü ise satıcının beyanının yeterli olduğunu belirtmiştir (Şekil 14). Şekil 15'de görüldüğü gibi bayanlarda hamilelik döneminde; %47'si balık tüketmediğini, %20'si ayda bir, %20'si ayda iki veya daha fazla, %13'ü ise haftada bir balık tükettiğini bildirmiştir. Şekil 16'de bayanların emzirme süreci içerisinde %40'ı ayda bir veya iki, %20'si yılda bir veya iki olurken %40'ı balık tüketmediğini bildirmiştir. Şekil 17'de yer aldığı gibi, katılımcıların %60'ı balık avcılığını farklı yöntemlerle yaparken, %26,7'si olta ile balık avladığını, %13,3'ü ise ağ kullanarak balık avcılığı yaptığını bildirmiştir. Şekil 18'de katılımcıların ilçenizde su ürünleri tüketiminin artırılmasına yönelik bir öneriniz var mı? sorusuna %50'si tanıtımının yapılması, %25'i faydalarının anlatılması ve %25'ise fiyatlarının ucuz olması şeklinde cevap vermişlerdir



Şekil 11. Su ürünleri tüketim sıklığı

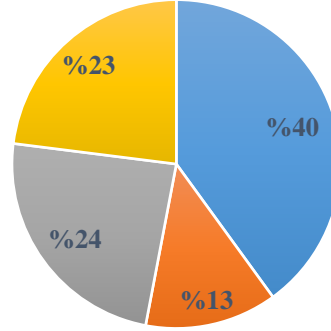


Şekil 12. Su ürünlerinin temini



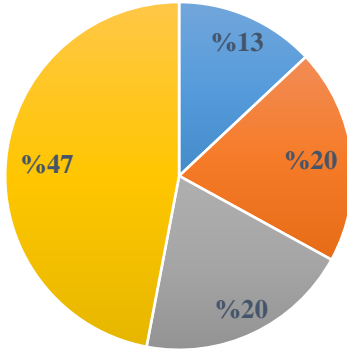
■ Hayır ■ Kesinlikle Hayır ■ Evet ■ Kesinlikle Evet

Şekil 13. Balık avlıyor musunuz?



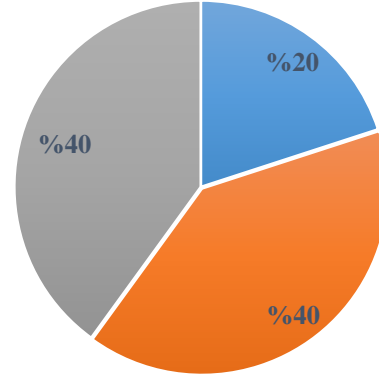
■ Solungaçlarına bakarım
■ Dersisine bakarım
■ Satıcının beyanına itibar ederim
■ Bilmiyorum

Şekil 14. Katılımcıların balığın taze olduğunu anlama metotları



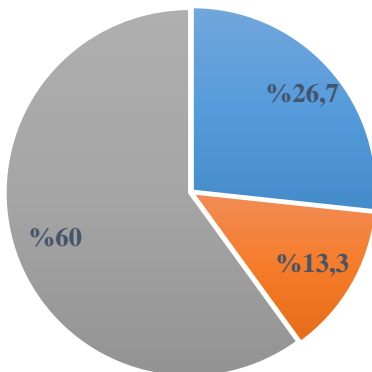
■ Haftada bir ■ Ayda bir
■ Ayda iki veya daha fazla ■ Tüketmedim

Şekil 15. Bayanlarda hamilelik döneminde ne sıklıkla balık tüketiyor?



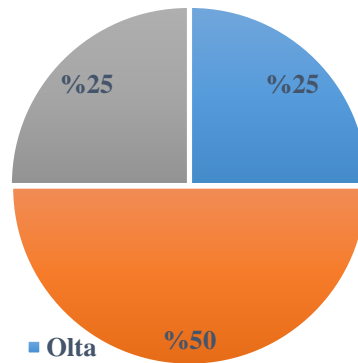
■ Ayda iki veya iki ■ Yılda bir veya iki
■ Tüketmedim

Şekil 16. Bayanlar emzirme süreci içerisinde ne kadar sıklıkla balık tüketti?



■ Olta ■ Ağ ■ Diğer yöntemler

Şekil 17. Katılımcılar balık avlarken hangi aletleri kullanıyor?



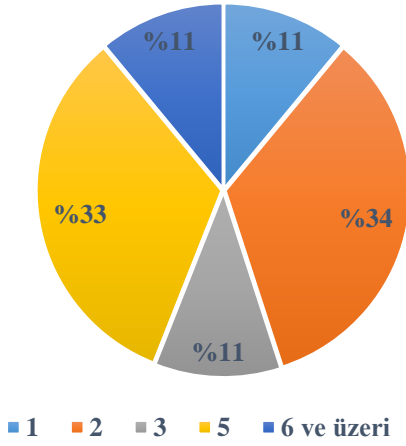
■ Olta ■ Tanıtım yapılması
■ Fiyatlarının ucuz olması

Şekil 18. İlçenizde su ürünleri tüketiminin artırılmasına yönelik bir öneriniz var mı?

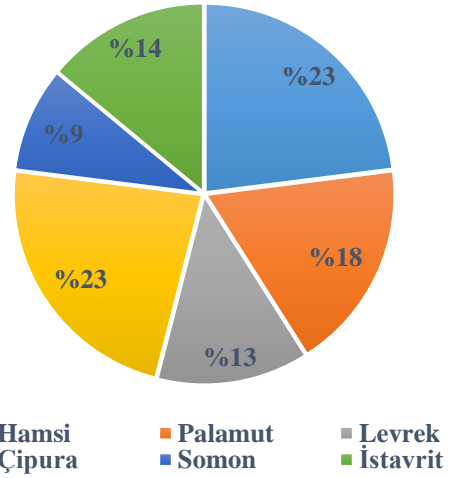
Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1364307

Şekil 19’de görüldüğü üzere; katılımcıların yıllık su ürünleri tüketimi; %11’i 1 kg, %33’ü 2 kg, %11’i 3 kg, %33’ü 5 kg, %11’i 6 kg ve daha fazla balık tükettiğini bildirmişlerdir. Ancak istatistiksel açıdan değerlendirilmesi uygun görülmemiştir. Şekil 20’de katılımcıların en çok beğendiği ve en fazla tükettiği Deniz balıklarının %23’ü hamsi, %18’si palamut, %13’ü levrek, %23’ü çipura, %9’u somon, %14’ü ise istavrit olarak belirlenmiştir. Şekil 21’de katılımcıların en çok beğendiği ve en fazla tükettiği

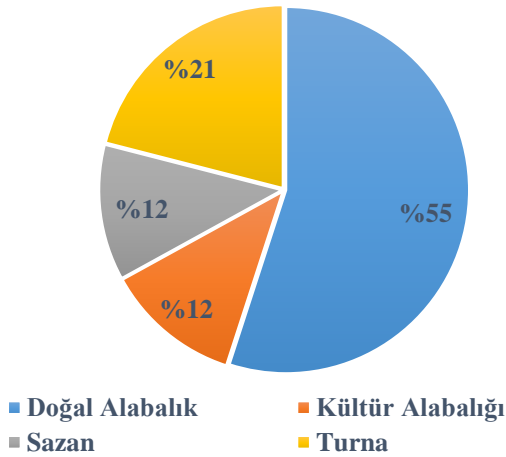
tatlı su balıklarının %55’i doğal alabalık, %12’si palamut, %21’i turna, %12’si sazan olarak belirlenmiştir. Sorumuzda yer alan diğer balık türlerini ise katılımcılar tercih etmemektedir. Şekil 22’de illere göre balık tüketimi karşılaştırılmış ve katılımcıların verdiği cevaplar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Yüzdesel olarak bakacak olursak %44 Elazığ ve %56 olarak Tunceli balık tüketimi yönünden istatistiksel olarak doğru bir eğriye sahiptir.



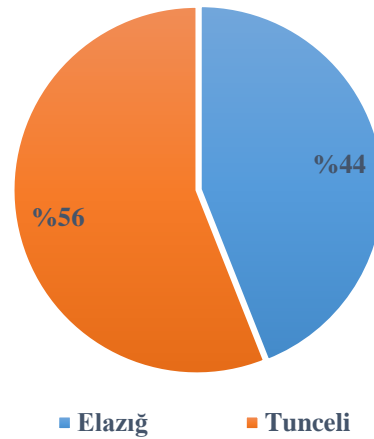
Şekil 19. Katılımcıların yıllık su ürünleri tüketim miktarı



Şekil 20. En çok beğendiğiniz ve en fazla tükettiğiniz deniz balıkları



Şekil 21. En çok beğendiğiniz ve en fazla tükettiğiniz tatlı su balıkları?



Şekil 22. İllere göre balık tüketim alışkanlıklarının karşılaştırılması

Ankete Katılan Bireylerin İl ve İlçelere göre Ki-kare (X^2) Test Sonuçları

Elazığ ve Tunceli illerine bağlı ilçelerde yaşayan katılımcıların en çok tercih ettiği et türü incelenmiştir. Tablo 2 incelendiğinde, Pertek ilçesinde balıketi %7,5, tavuk eti %25,9 ve kırmızı et ise %38,1; Çemişgezek ilçesinde balıketi %7,5, tavuk eti %59,7 ve kırmızı et %20,9; Keban balıketi

%5,9, tavuk eti %36,5, kırmızı et %47,1; Sivrice balıketi %13,2, tavuk eti %42,1 ve kırmızı et %28,9; oranında bulunmuştur. Buna göre farklı ilçelerde yaşayan bireylerin et tercihleri tavuk eti en yüksek oranda olduğu görülmesine rağmen, bireylerin et tercihlerine ilişkin görüşlerinde istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermiştir ($X^2=112,532$, $p<0,05$).

Tablo 2. Ankete katılan bireylerin farklı ilçelere göre en çok tercih ettikleri et türü

Bölge	En çok tercih ettiğiniz et türü				Toplam	
	Balık	Tavuk	Kırmızı Et	Hepsi		
Pertek	f	39	135	199	149	522
	%	7,5	25,9	38,1	28,5	100,0
Çemişgezek	f	15	120	42	24	201
	%	7,5	59,7	20,9	11,9	100,0
Keban	f	5	31	40	9	85
	%	5,9	36,5	47,1	10,6	100,0
Sivrice	f	5	16	11	6	38
	%	13,2	42,1	28,9	15,8	100,0
Total	f	67	338	322	223	950
	%	7,1	35,6	33,9	23,5	100,0
$X^2= 112,532$ $df= 18$ $p= 0.000$						

TARTIŞMA ve SONUÇ

Çalışmada et tüketim alışkanlığı incelendiğinde; katılımcıların %14'ü yalnızca balık, %21'si yalnızca kanatlı hayvanlar, %65'i yalnızca kırmızı et tükettiklerini belirtmişlerdir. Kırmızı et tüketim oranının diğer seçeneklere göre yüksek oluşu, bu yörelerdeki ankete katılan kişilerin damak zevki ve kültürel alışkanlıkları neticesinde olduğu düşünülebilir. Araştırmalarda; Çolakoğlu ve ark. (2006)'nin çalışmasında sırasıyla beyaz eti (%47,50), balıketini (%29,90), kırmızı eti ise (%22,10) tükettiklerini belirtmişlerdir. Şen ve ark., (2008)'nin çalışmada sırasıyla balıketini %74 oranında tükettiğini, kırmızı etin %69 oranında ve tavuk etinin %49 oranında tükettiğini saptamışlardır. Oğuzhan ve ark. (2009), çalışmasında kırmızı eti (%56), tavuk eti (%37,30), balıketi (%6,70) tükettiklerini tespit etmiştir. Yüksel ve ark. (2011), Tunceli'de yaptığı çalışmada kırmızı et tüketimini %40, tavuk eti tüketimini %38 ve balıketi tüketimini %22 olarak tespit etmişlerdir. Olgunoğlu ve ark. (2014), Adıyaman'da et tüketim alışkanlığında

sırasıyla kırmızı et (%38), tavuk eti (%56) ve balıketi (%5) oranında olduğunu belirlemiştir.

Anketörlerin ilçelere göre katılım düzeyini incelendiğinde (Şekil 2), Pertek ilçesinin katılım oranı %45; Çemişgezek ilçesinin katılım oranı %15; Sivrice ilçesinin katılım oranı %20, Keban ilçesinin katılım oranı %20; olup katılım oranları belirlenmiştir. Bu veriler değerlendirilecek olursa, Pertek ilçesinde anket sorularını cevaplamaya yönelik daha destekçi halk yapısının olduğu neticesine varılabilir. Şekil 3 incelendiğinde, katılımcıların ailelerinin birey sayıları incelendiğinde %35,5'i dört kişilik ailede yaşarken, %25,8'i üç kişilik ailede yaşamakta, %12,9'u iki kişi ile yaşamakta olup %16,1'i ise altı kişilik ailede yaşamaktadır. Şekil 5'de belirtildiği gibi, katılımcıların gelir düzeyini incelediğimizde yüksek bir kitlenin (%61 ile) gelir düzeyinin nispeten yüksek oranlara sahip olduğu anlaşılmakta gelir düzeyi daha dar olan kitlenin ise azınlıkta olduğu belirlenmiştir. Balık ve ark., (2013) yaptığı çalışmada ise 500-2000 TL gelir aralığında

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1364307

çoğunluğun olduğunu belirlemişlerdir.

Balıkentinin tüketim şeklinin yönetildiği soruya aldığımız cevaplar ise şöyledir. (Şekil 10); %42'i kızartma yaparak, %22'si mangal yaparak balıkentini tükettiğini belirtmiş olup %29'u ise ızgara yaparak balıkentini tükettiğini beyan etmektedir. Besin değeri açısından oldukça yüksek değerlere sahip olan balığın kırmızı etten daha sağlıklı olduğunu bilmekteyiz.

Su ürünlerini hangi sıklıkla tükettiklerini sorduğumuzda aldığımız cevaplar ise şöyledir (Şekil 11); %41,9'u ayda yalnızca bir defa balık tüketmekte, %12,9'u ise haftada bir defa balık tüketmekte olduğu şeklinde cevaplar alınmıştır. Bu verilerle yapılan araştırmada sosyo-kültürel yapının balık tüketimini etkilemekte olduğunu aileden gelen yeme kültüründe balığın çok fazla tüketim kaynağı olarak yer almamakta olduğunu göstermektedir. Anket katılımcılarının balık tüketim sıklığı incelendiğinde; haftada bir kez %42,20'si haftada iki kez %28,30'i, ayda iki-üç kez %15,10'i, ayda bir kez %10,80'ni, iki üç ayda bir kez %2,00'si tükettiklerini görülmüştür. Tüketicilerin aylık balık tüketimi ise; %24,30'u 2 kg ve altı, %35,50'i 2-4 kg, %26,70'i 4-6 kg, %12,70'i 6 ve üstü kg balık olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda ise; Arslan (2015) çalışmasında en az 2 kez, Çolakoğlu ve ark. (2006), çalışmasında Çanakkale'de, 4 kez, Orhan ve Yüksel (2010), Burdur ilinde gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarda ayda 4 kez, Hatırlı ve ark., (2004)'nin Isparta'da gerçekleştirdikleri çalışmalarında 1 veya daha fazla balık tükettiklerini beyan etmişlerdir. Bu oran bizim mevcut çalışmanın oranlarından daha yüksektir. Sebep olarak su ürünlerine Çanakkale ilinde Tunceli ve Elazığ ilindeki ilçelerine ulaşma imkânından daha kolay olmasıdır. Ek olarak balığa taze olarak ulaşma imkânı Çanakkale'de daha fazla olduğunun altı çizilebilir.

Balat ve Cevher çalışmasında katılımcıların %37'si 2-4 kez, %51'i ayda 1 kez, %9'u 5 kez ve üzerinde balık tüketirken %3'ünün ise hiç balık tüketmediği belirlenmiştir. Araştırmamızda ankette balığı tercih etme nedenlerine verilen cevaplar incelendiğinde; besleyici ve lezzetli olması nedeniyle %97,50'i tercih ettiği görülmüştür. Çadır (2012), yapmış oldukları çalışmalarında Keban Baraj Gölü Ova Bölgesi'nde balık tüketim oranının incelenmesi amacıyla yaptığı araştırmada, katılımcıların %61,20'si balıkentini severek

tükettiklerinin altını çizmişlerdir.

Katılımcılara yönelttiğimiz balık avlıyor musunuz sorusuna %77'lik bir kısım hayır olarak yanıt vermekte ve %10'luk bir kesim sadece evet olarak cevap vermişlerdir (Şekil 13). Bu veriler ışığında hobi olarak yapılan balık avcılığının çok az olduğu anlaşılmaktadır. Bunun için yapılabilecekler gerekli tanıtım ve reklamın yapılması ve adayların gerekli eğitim ile donatıldıktan sonra bölgede hobi balıkçılığının artışa teşvik edileceği ile gerçekleşmesi kaçınılmaz bir olgudur.

Su ürünlerinin temin edildiği yerler hakkındaki soruya verilen cevapların yüzde oranları Şekil 12'de sunulmuştur. Buna göre cevaplar sırasıyla şöyle olmuştur; %40'ı balık hallerinden, %26'sı üreticilerden, %24'ü marketlerden temin edilmektedir. Bu sonuç Çaylak (2013),'ün yaptığı çalışmalarla da benzerlik göstermiştir, bir çalışmada su ürünlerinin satış oranını yüksek bulanların oranı Fatsa'da %53,10 ve Aybastı'da %58,10 olarak tespit edilmiştir.

Balığın taze olduğunu nasıl anlarsınız? sorusunu yönelttiğimizde %40'lık bir kesim solungaçlarına baktığını, %23'lük bir kısmı bilmediğini, %13'lük kısım ise derisine parmağını bastırarak derinin elastikiyetini kontrol ettiğini belirtmiş ve %24'ü ise satıcının beyanının yeterli olduğunu belirtmiştir (Şekil 14). Ancak balık avlanma aşamasından tezgâha gelinceye kadar herhangi bir ısı işleminden geçmediği için tazelik oldukça önemli bir konu olmakta ve tüketicilerin korktuğu noktada burası olmaktadır. Erdal ve Esengün (2008) Tokat'ta yaşayan ailelerin balık satın aldıklarında en fazla belirli balık satıcılarını (%85) tercih ettikleri ifade etmişlerdir. Araştırmaya katılan katılımcıların balığı temin ederken nelere dikkat ettiğini özellikler incelendiğinde; %31,73'ü solungaçlarına, %37,35'i gözlerine, %12,05'i kokusuna dikkat ederek 52 satın aldıkları veya temin ettiklerini belirtmişlerdir. Tüketicilerin temin ettikleri balığın %42,97'si tazeliğine, %37,35'i ortam hijyenine, %11,24'si avlanma yeri bakarak temin ettiklerini belirtmişlerdir. Katılımcılar, temin ettikleri balığının temin yerinden %70,28'si memnun olduklarını belirtirken %29,72'i memnun olmadıklarını belirtmişlerdir.

Sonuç olarak, Elazığ ve Tunceli illerine bağlı belirli ilçelerde su ürünleri ile ilgili yapılan anket çalışmasında katılımcıların su ürünleri tüketimi, Türkiye ortalamasıyla paralellik arz etmektedir.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1364307

Katılımcıların ortalama balık tüketimi 6,2 kg olarak belirlenmiştir. Bu oran bölgesel olarak farklılık göstermiştir. En fazla balık tüketimi, Pertek ve Keban ilçelerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple Çemişgezek ve Sivrice ilçelerinde balık tüketimine olan ilginin artırılması için tanıtım ve bilgilendirme çalışmaları yapılmalıdır. Yapılan bu çalışma diğer balık tüketimi hakkında yapılacak olan çalışmalara kaynak teşkil edecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar/ Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazar/Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

KAYNAKLAR

- Arslan, M. (2015). Antalya ili su ürünleri tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 42s, Isparta.
- Assael, H. (1992). Consumer behavior and marketing action. Kent Pub. Co
- Aydın, M. ve Karadurmuş, U. (2013). Trabzon ve Giresun bölgelerindeki su ürünleri tüketim alışkanlıkları. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi / The Black Sea Journal of Sciences, 3(9), 57-71.
- Balcı, M., Birici, N., Şeker, T., Demir, T. ve Arısoy, G. (2016). Malatya il merkezinde yaşayan kişilerin su ürünleri tüketim davranışlarının değerlendirilmesi. Adıyaman University Journal of Science, 6(2), 132-155.
- Balık, İ., Yardımcı, C. ve Turhan, O. (2013). Ordu İli Fatsa ve Aybastı ilçelerinde balık tüketim alışkanlıklarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3(2), 18-28.
- Çadır, F. (2012). Keban Baraj Gölü ova bölgesi su ürünleri tüketiminin araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Çaylak, B. (2013). İzmir ili su ürünleri tüketimi ve tüketiciler tercihleri üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Türkiye.

- Çiçek, E., Akgün, H. ve İlhan, S. (2014). Elazığ İli balık eti tüketim alışkanlığı ve tercihinin belirlenmesi, Yunus Araştırma Bülteni 1, 3-11.
- Çolakoğlu, F.A., İşmen, A., Özen, Ö., Çakır, F., Yığın, Ç. ve Ormancı, H.B. (2006). Çanakkale ilindeki su ürünleri tüketim davranışlarının değerlendirilmesi, Ege Üniv. Ürünleri Derg., 23, 387-392.
- Erdal, G. ve Esengün, K. (2008). Tokat ilinde balık tüketimini etkileyen faktörlerin logit model ile analizi. Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Dergisi, 25 (3), 203-209.
- F.A.O. (2015). Statistical Pocketbook – World Food and Agriculture. Rome, Italy.
- F.A.O. (2018). Statistical Pocketbook – World Food and Agriculture. Rome, Italy.
- Güler, O., Şimşek, N., Akdağ, G., ve Aslan, S. A. (2021). Alakart Restoran Menülerinde Balık Yemeği Tercihlerine Yönelik Karşılaştırmalı Bir Araştırma: Mersin Örneği (A Comparative Study on Fish Dish Preferences in A la Carte Restaurant Menus: The Case of Mersin). Journal of Tourism & Gastronomy Studies, 9(4), 2713-2733.
- Hatırlı, S.A., Demircan V. ve Aktaş A.R. (2004). Isparta ilinde ailelerin balık tüketiminin analizi. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 9(1), 245-256.
- Karaton Kuzgun, N. ve Kırbağ, S. (2020). Description of the Protective Feature of Oregon Essential Oil Sold as a Commercial Site on Rainbow Trout, International Journal of Pure and Applied Sciences 6 (2), 99-106.
- Oğuzhan, P., Angiş, S. ve Atamanalp, M. (2009). Erzurum ilinde tüketicilerin su ürünleri tüketim alışkanlığının belirlenmesi üzerine bir araştırma, XV. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, Rize.
- Olgunoğlu, M., P. Bayhan, K., Y. ve Korkmaz, S. (2014). Adıyaman ili balıkçılığının mevcut durumu ve sorunları. Yunus Araştırma Bülteni, 4, 37-46.
- Orhan, H., Yüksel, O., 2010. Burdur İli Su Ürünleri Tüketimi Anket Uygulaması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 5 (1), 1-7.
- Özdamar, K., (2001). SPSS ile Biyoistatistik. Yayın no: 3,4. Baskı. Kaan Kitabevi, Eskişehir, 452.
- Özden, Ö., Mol, S. ve Erkan, N. (2008). Su ürünleri ve beslenme, İstanbul Büyükşehir Belediye Basımevi, İstanbul.
- Saka, F., ve Bulut, M. (2020). Determination of fish consumption in Çanakkale. Marine Science and Technology Bulletin, 9(1), 7-17.
- Sarı, M., Demirulus, H. ve Söğüt, B. (2000). Van ilinde öğrencilerin balık eti tüketim alışkanlığının belirlenmesi üzerine bir araştırma, Doğu Anadolu Bölgesi IV. Su Ürünleri Sempozyumu, Erzurum, 28-30 Haziran, s. 627-637.
- Sarıca, Ş. (2003). Omega-3 yağ asitlerinin insan sağlığı üzerine etkileri ve tavuk etinin omega-3 yağ

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1364307

- asitlerince zenginleştirilmesi, Hayvansal Üretim, 44, 1-9.
- Şen, B., Canpolat, Ö., Sevim, A.F. ve Sönmez, F. (2008). Elazığ ilinde balık eti tüketimi, F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Derg., 20, 433-437.
- T.Ü.İ.K. (2020). Su Ürünleri İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara,
- Yıldırım, R. (2020). Türkiye'deki Su Ürünleri ile İlgili Yüksek Öğretim Kurumlarındaki Akademisyenlerin Su Ürünleri Tüketim Alışkanlıklarının Araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Yıldız, H. (2010). Amino Acids, oligopeptides, polypeptides, and proteins, in Advances in Food Biochemistry, pp 51-100, Eds. Yılmaz, F. CRC Press, Taylor & Francis Group, New York.
- Yüksel, F., Kuzgun, N.K. ve Özer, E.T. (2011). Tunceli İli Balık Tüketim Alışkanlığının belirlenmesi. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 2(5), 28-36.