



e-ISSN: 2667-4165 • CİLT / VOLUME: VI • SAYI / ISSUE: I • HAZİRAN / JUNE 2023

# AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ ULUSLARARASI MÜHENDİSLİK TEKNOLOJİLERİ VE UYGULAMALI BİLİMLER DERGİSİ

**Afyon Kocatepe University  
International Journal of  
Engineering Technology and  
Applied Sciences**

[www.dergipark.org.tr/tr/pub/akuumbd](http://www.dergipark.org.tr/tr/pub/akuumbd)



AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
ULUSLARARASI MÜHENDİSLİK TEKNOLOJİLERİ ve UYGULAMALI BİLİMLER DERGİSİ  
Afyon Kocatepe University  
International Journal of Engineering Technology and Applied Sciences

# Afyon Kocatepe University International Journal of Engineering Technology and Applied Sciences

<http://dergipark.org.tr/akuumubd>

e-ISSN:2667-4165

**Afyon Kocatepe University**  
**International Journal of Engineering Technology and**  
**Applied Sciences (AKU-IJETAS)**

Volume: VI / Number: 1 / June - 2023

*Owner / Publisher: Prof. Dr. Ayhan EROL for Afyon Kocatepe University*

*Editor in Chief Prof. Dr. Ayhan EROL*

*Co- Editor in Chief Prof. Dr. Rıdvan ÜNAL*

*Published Afyon Kocatepe University, June 2023,*

*ijetas@aku.edu.tr*

*This work is subject to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the material is concerned. Nothing from this publication may be translated, reproduced, stored in a computerized system or published in any form or in any manner, including, but not limited to electronic, mechanical, reprographic or photographic, without prior written permission from the Publisher Afyon Kocatepe University [www.ijetas.aku.edu.tr](http://www.ijetas.aku.edu.tr) [ijetas@aku.edu.tr](mailto:ijetas@aku.edu.tr) The individual contributions in this publication and any liabilities arising from them remain the responsibility of the authors. The publisher is not responsible for possible damages, which could be a result of content derived from this publication.*

**CONTACT INFORMATION**

Afyon Kocatepe University International Journal of Engineering Technology and Applied Science Afyon Kocatepe University, Technology Faculty, 03200 Afyonkarahisar, TURKEY

Phone: +90-272-2281446 /ext.

Fax: +90-272 228 1449

e-mail : [ijetas@aku.edu.tr](mailto:ijetas@aku.edu.tr), [aerol@aku.edu.tr](mailto:aerol@aku.edu.tr)

## **Welcome to AKU-IJETAS**

Dear Researchers;

Afyon Kocatepe University International Journal of Engineering and Applied Sciences ler has been published in Turkish and English since 2018 with 2 issues. Our journal will accept Turkish and English articles as 2 issues a year and the articles will be evaluated by at least two referees with the same system. Our magazine from December 2018; it offers many advantages to readers due to the practical and practical access to the authors as well as the process of publishing and publishing quickly and easily; The electronic journal (e-ISSN:2667-4165) accepts 2 numbers per year (June and December) in Turkish and English. The names of the judges evaluating the articles are not notified to the authors. The referees cannot see the names of the authors. The studies are evaluated as at least two referees. Our authors, who want to send articles, can register their original scientific articles online and follow the process by registering on our magazine page. Our journal is accepted as original and previously published research articles.

We are waiting for your contributions as both referee and writer. I thank you in advance for your support and I wish you success in your work.

**Prof. Dr Ayhan EROL**

**Chief Editor**

## Danışma Kurulu / Editörler/ Editorial Board

Adem KURT	Gazi University	TURKEY
Ahmet AKSOY	Akdeniz University	TURKEY
Ahmet YILDIZ	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Alexander ONUFRAK	Pavol Jozef Safarik University	SLOVAKIA
Anas Sarwar QURESHI	Agriculture University	PAKISTAN
Artay YAGCI	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Asım Gokhan YETGIN	Dumlupinar University	TURKEY
Behçet GULENC	Gazi University	TURKEY
Bojan ZLENDER	Maribor University	SLOVENIA
Cahit GURER	Afyon Kocatepe University,	TURKEY
David NOZADZE	Georgian Technical University	GEORGIA
Diñçer BURAN	Süleyman Demirel University	TURKEY
Dunja PERIC	Kansas State University, Manhattan	ABD
Dusan ORAC	Kosice Technical University	SLOVAKIA
Elena Cristina RADA	Trento University	ITALY
Gabor PAY	University College of Nyiregyhaza	HUNGARY
Gratiela BOCA DANA	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Hazizan Md AKİL	Sains Malaysia University	MALAYSIA
Huseyin Ali YALIM	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Huseyin AKBULUT	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Huseyin BAYRAKCEKEN	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Ilhan KOŞALAY	Ankara University	TURKEY
Ioan ABRUDAN	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Ivan KURIK,	Technical University Zilina	SLOVAKIA
Iveta VASKOVA	Kosice Technical University	SLOVAKIA
João Pedro SILVA	Leiria Polytechnic Institute	PORTUGAL
Lucian Ionel CIOCA	Lucian Blaga University of Sibiu	ROMANIA
Marco RAGAZZI	Trento University	ITALY
Martina HRUBOVCAKOVA	Kosice Technical University	SLOVAKIA
Matjaž ŠRAML	Maribor University	SLOVENIA
Merlinda EBIBI	Mother Teresa University	MACEDONIA
Mihai BANICA	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Mircea HORGOS	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Monica Lopez ALONSO	University of GRANADA	SPAIN
Muhammed YURUSOY	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Mustafa ERSOZ	University of Selcuk	TURKEY
Mustaque HOSSAIN	Kansas State University, Manhattan	ABD
Nadras OTHMAN	Sains University	MALAYSIA
Nicolae UNGUREANU	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Neritan TURKESHI	Mother Teresa University	MACEDONIA
Olivera PETKOVSKA	Mother Teresa University	MACEDONIA

Olga OROSOVA	Pavol Jozef Safarik University	SLOVAKIA
Otar ZUMBURIDZE	Georgia Technical University	GEORGIA
P. Trinatha RAO	Gitam University	INDIA
Peter MONKA	Technical University Kosice	SLOVAKIA
Prasanna RAMAKRISNAN	Neo Education Institu	MALAYSIA
Ramazan KAÇAR	Karabük University	TURKEY
Radu COTETIU	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Regita BENDIKIENĖ	Kaunas Technology University	LITVANIA
Renata PANOCOVA	Pavol Jozef Safarik University	SLOVAKIA
Rıdvan UNAL	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Robert CEP	Technical University Ostrava	CZECH
Serdar SALMAN	Marmara University	TURKEY
Serhat BASPINAR	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Sermin OZAN	Fırat University	TURKEY
Sezai TAŞKIN	Celal Bayar University	TURKEY
Snezhina ANDONOVA	Sauth-West University	BULGARIA
Suleyman GUNDUZ	Karabük University	TURKEY
Stanislaw LEGUTKO	Poznan University of Technology	POLAND
Tomasz NIZNIKOWSKI	Lomza State University Applied Science	POLAND
Tomaz TOLLAZZI	Maribor University	SLOVENIA
Ugur CALIGULU	Fırat University	TURKEY
Yılmaz YALCIN	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Yuksel OĞUZ	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Zoran TRIFUNOV	Mother Teresa University	MACEDONIA

## CONTENTS

Page

### **Spoiler Tasarımında ABS ve Karbon Fiber Malzemelerin Analizi**

*Mehmet ÇAKMAKKAYA, Furkan SOYLU*.....1-13

### **Akrilik Örme Kumaşlarda Renk Değişimi ve Desen Değişiminin Performans ve Isıl Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi**

*Edanur TURGUT, Züleyha DEĞİRMENCİ, Muhammed İdris AKTAŞ*  
.....14-24

### **Leonarditin Hidrosiklon ile Ön Zenginleştirilmesinin Hümik Asitin Alkali Liç Eldesindeki Etkisi**

*İsmail BENTLİ, Uğur DEMİR*.....25-32

### **Mermer Türlerinin Makine Öğrenmesi Teknikleri Kullanılarak Sınıflandırılması**

*Murat YAVUZ, İbrahim TÜRKOĞLU*.....33-42

### **Eğricik Dönüşümü Ayırıştırması Kullanılarak İki Sınıflı Motor Görüntüsü EEG Sinyallerinin Sınıflandırılması**

*Nebi GEDİK*.....43-49

### **Binaların Dış Duvarlarında Uygulanacak Yalıtımın Gömülü Enerjisine Bağlı Kalınlığı ve Isıl Atalet İndeksi**

*Okan KON*.....50-62

### **Kolesterol Tayini için Biyosensör Geliştirilmesi**

*Zikriye ÖZBEK*.....63-74

### **Derin öğrenme tabanlı Elektrikli Ev Aletleri Veri Setinin Sınıflandırılması**

*Gürkan KÜÇÜKYILDIZ*.....75-80

### **Pankreas Kanserinin Erken Evrelerde Teşhisi için Yapılan Biyosensör Çalışmaları**

*Zikriye ÖZBEK, Nurşah GÜR*.....81-94

## Spoiler Tasarımında ABS ve Karbon Fiber Malzemelerin Analizi

Mehmet ÇAKMAKKAYA<sup>1</sup>, Furkan SOYLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği, Türkiye

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği, Türkiye

e-mail : <sup>1</sup>cakmakkaya@aku.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-9031-3830>

<sup>2</sup>furkan.soylu61@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7153-5024>

The arrival date:07.11.2022 ; Date of Acceptance:22.01.2023

### Öz

Bu çalışmada, binek araçlarda oldukça yaygın kullanılan spoilerin arac üzerindeki aerodinamik etkileri ve bunlarda kullanılan malzemenin mekanik özellikleri analiz edilmiştir. Günümüz imalat süreçlerinde yeni ürünlerin optimum tasarım kriterlerinin belirlenmesinde özellikle otomotiv gövde ve parçalarında sonlu elemanlar yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Analizde elde edilen tasarım kriterleri imalat sürecinde anahtar rol oynar. Spoilerin fonksiyonu aracın aerodinamiği bununla birlikte yüksek hızlarda stabiliteye sahip olması otomobil için önemlidir. Spoilerin uyguladığı tersine basma kuvveti aracın hızlanması sonucunda oluşur ve bu etki aracın yere daha iyi basmasını sağlar. Bu durum aracı yüksek hızlarda daha güvenli hale getirir. Araç ağırlıkları da dikkate alındığında bunların oldukça hafif ve yüksek dayanıma sahip karbon fiber malzemeden imal edilmesi önemli tercih sebeplerindedir. Bu çalışmada çelikten çok daha hafif ve dayanımı yüksek olan karbon fiber malzeme araştırılmıştır. ABS plastik ile karbon fiber malzemeden spoiler tasarımı yapılarak tasarım analizleri ANSYS yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile çekme, basma ve burulma analiz verileri nümerik olarak hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda karbon fiber malzemeden üretilmiş spoilerin daha üstün özelliklerde olduğu tesbit edilmiştir

### Anahtar Kelimeler

Carbon Fiber; Spoiler;  
ANSYS; Mechanical  
Analysis; Compression  
Test; Torsion Test;  
Tensile Test

## Analysis of ABS and Karbon Fiber Materials in Spoiler Design

### Abstract

In this study, the aerodynamic effects of spoilers, which are widely used in passenger cars, on the vehicle and the mechanical properties of the materials used in them are analyzed. In today's manufacturing processes, the finite element method is widely used, especially in automotive bodies and parts, in determining the optimum design criteria of new products. The design criteria obtained in the analysis play a key role in the manufacturing process. The function of the spoiler is important for the car's aerodynamics as well as its stability at high speeds. The reverse downforce applied by the spoiler occurs as a result of the acceleration of the vehicle, and this effect allows the vehicle to press the ground better. This makes the vehicle safer at high speeds. Considering the vehicle weights, it is one of the important reasons for preference that they are manufactured from very light and high-strength carbon fiber materials. In this study, karbon fiber material, which is much lighter and more durable than steel, has been investigated. Spoiler design made of ABS plastic and karbon fiber material, and the design analyzes were evaluated using ANSYS software. Tensile, compression and torsion analysis data were calculated numerically with the finite element method. As a result of the analysis, it has been determined that the spoiler made of karbon fiber material has superior features.

### Keywords

Carbon Fiber; Spoiler;  
ANSYS; Mechanical  
Analysis; Compression  
Test; Torsion Test;  
Tensile Test



## 1. Giriş

Günümüzde üretilen araç çeşitliliğinin artması üretim teknolojisindeki gelişmelerle tanımlanmaktadır. Bu gelişme aynı zamanda kullanılan malzeme özelliklerini de ön plana çıkarmaktadır. Malzeme seçiminin yanında araç tasarımında aerodinamik araç gövde tasarımının iyileştirilmesi üzerinde çalışılmıştır. Otomotiv endüstrisinin esas ilgilendiği konulardan bir de sayısal yöntemlerle sürükleme katsayısını azaltmak için taşıt tasarımı aerodinamiğinin iyileştirilmesi üzerinde bir çok çalışma yapılmıştır. Özellikle yüksek hızlı otomobillerde aerodinamiğin önemi spoiler ve hava kanalları tararımlarını ön plana çıkarmıştır. Çünkü yüksek hızlarda spoilerin yere uyguladığı basma kuvveti sonucunda yere tutunmayı sağlamakta ve bu tür araçları yüksek hızlarda daha güvenli hale getirmektedir. Literatürde SOLIDWORKS®'te tasarlanan araç modelleri üzerinde ANSYS® CFX yazılımı (k-epsilon modeli) kullanılarak üç-boyutlu SAD (Sayısal Akışkanlar Dinamiği) hava akış simülasyonu uygulamaları araştırmacılar tarafından çalışılmıştır. "CFX-mesh" te ağ yapısı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak oluşturulur çünkü teorik olarak, aracın gövdesinin aerodinamik şeklini etkileyen araç üzerindeki yapılar yakıt tüketimini azaltabilir ve aracın hızını engelleyen kuvvetleri en aza indirebilir. Bilgisayar destekli modellemelerde araç durma mesafesini azaltabilmek için araç üzerindeki spoilerin açılma oryantasyonu üzerinde çalışılmışlardır (Arulshri, Kumar, Nesalingam, 2021). Günümüzde araç gövdelerinde yaygın kullanılan karbon fiber takviyeli ya da güçlendirilmiş plastik plazemeler çelik kadar hatta ondan daha yüksek dayanımda olması bununla birlikte bu tür kompozit malzemelerin daha hafif olmaları kullanım cazibesini arttırmıştır. Araç üzerindeki spoiler ve benzeri parçaların tasarımında karbon elyaf takviyeli polimer matrisli kompozitler kullanılmıştır (Zhang, Wang, 2002).

Chanyang Kim ve ark. spoiler modellemesinde soğutma performansını karşılaştırmak ve geliştirmek için doğrudan temaslı hava soğutmalı bir sisteme dayanan üç farklı tasarım üzerine çalışmışlar. Ayrıca, tasarlanan modeli doğrulamak için bir akü soğutma testi gerçekleştirmişlerdir. Araştırma sonucunda, spoiler modelinin maksimum pil sıcaklığını yaklaşık %16 oranında azalttığını ve spoiler içermeyen geleneksel bir soğutma yöntemiyle karşılaştırıldığında, pil hücresinin sıcaklık dağılımını yaklaşık %65 oranında etkili bir şekilde iyileştirdiği yazılmıştır (Chanyang, Jaeyoung, Seokmoo, 2022).

Nomura ve arkadaşları Kompozit malzemelerdeki takviye fazlarının matris fazı içindeki dağılımı ve bunların ürün imalatında kullanılmasıyla oluşan yapıyı üç boyutlu tasarım yöntemini kullanarak ürün üzerindeki etkileri üzerinde çalışmışlardır. Tasarım yöntemindeki değişkenleri topoloji optimizasyonuna dayalı olarak formüle etmişlerdir. Bu imalat yöntemini, bir CNC Tezgah makinesinin preform olarak hazırladığı özel elyaf yerleştirme teknolojisine dayandığını bildirmişlerdir. Preform ürünlerin, fiber yollarını optimize ederek isteğe bağlı yönlendirme dağıtımı ve vakum destekli reçine transfer kalıplama ile oluşturulduğu ifade edilmiştir (Nomura, Iwano, Kawamoto, Yoshikawa, 2022).

Yüzyılın teknolojisi olan yapay zeka (AI) ve bunun otomobil sektöründeki çeşitli uygulamaları dördüncü sanayi devriminin (Endüstri 4.0) çağında, üretim, kalite ve kârları maksimize etmek için kullanılan akıllı teknolojiler sayesinde endüstriler daha da karmaşık hale geldiği ve israfı, zamanı ve üretim maliyetlerini en aza indirildiği belirtilmiştir. Yapay zeka, Modern araçları akıllı, güvenli ve güvenilir hale getirmek için bunları otomobil endüstrisinde kullanmayı amaçlamaktadır. Aynı zamanda, sürücüleri otomatikleştirmeye çalışır, böylece el emeğini azaltır, verimliliği artırır ve insanları sıradan, tekrarlayan görevleri yerine getirmekten kurtarır. Polimer kompozitler, karbon fiber ve yüksek mukavemetli çelik gibi gelişmiş

malzemeleri otomobil endüstrisinde uygulanabilir kılan çeşitli faktörleri ve bu ileri malzemelerin otomobil endüstrisindeki uygulama yöntemlerini ve alanlarını tartışmışlardır (Kamran 2022).

Yeni bir ürünün geliştirilmesi için alanın gelecekteki yönünü araştırmak sürdürülebilirlik için tasarım ilkelerini ve mevcut literatürü birleştirmeyi amaçlamak gerekir. Bu açıdan bakıldığında sürdürülebilirlik yöntemlerinin tasarımı, ekoloji, ekonomi ve sosyal yapı bakımından sürdürülebilirlik fikri altında oluşturulabilir olduğunu belirtmişlerdir (Rıza, Esyraf, 2022).

Günümüzde, kompozit malzemelerin uygulanması savunma, otomobil, havacılık, spor, ev ürünleri ve tıbbi ekipmanlarda geniş yer bulmaktadır. Kompozit malzemeler; maris faz ve takviye fazlarının durumlarına göre; karbon fiber, aramid fiber, E-cam fiber şeklinde adlandırılan kompozitlerdir. Her iki fazın kombinasyonu, malzemenin hafif olmasını ve daha geniş alanlarda uygulanabilmesi için yüksek mukavemetli olmasını sağlar. Kompozit malzemelerin çoğu, sentetik ve doğal bazlı malzemeler olup ticari olarak temin edilebilir (Sapuan, İlyas ve Asyraf 2021).

Genel olarak, yapısal malzemeler içine polimer köpüğün merkeze konulduğu ve CFRP (karbon fiber takviyeli polimer) veya GFRP (Cam fiber takviyeli polimer) gibi heterojen bir malzemenin polimer köpüğün tek veya her iki tarafına uygulandığı köpük özlü sandviç kompozitleri, hacim, ağırlık ve titreşim sönümlenme özellikleri açısından daha uygun olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle, köpük özlü sandviç kompozitlerin esas olarak nakliye alanında kullanılmakla birlikte çeşitli alanlarda uygulamaları vardır. Çalışmalarında bir otomotiv spoilerinde ABS/PC (Akrilonitril Bütadien Stiren / polikarbonat) ile geleneksel kullanılan spoilerlere kıyasla, köpük özlü CFRP sandviç kompozitinin uygulanmasının ağırlığı azaltıldığı bu işlemi köpük özlü CFRP sandviç kompozitinde örülmüş karbonun laminasyon tasarımı ile gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra, köpük özlü CFRP sandviç kompozit spoiler ile geleneksel ABS/PC spoileri sonlu elemanlar analizi ile mekanik davranışları karşılaştırmışlardır (Lee ve ark. 2020).

Wafi ve ark.. (2021); yüksek hız yapan yarış arabalarında meydana gelen kaldırma kuvvetinin

aracın stabilitesini, çekişini ve hızını kaybetmesine neden olduğunu bu nedenle, kaldırma kuvvetini azaltmak ve aracı daha kararlı hale getirmek için bir yarış arabasına bir spoiler monte ederek çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, spoiler boyutunun UniART FSAE yarış otomobili üzerindeki sürtünme kuvveti ve basma kuvveti değeri üzerindeki etkisini simülasyon yazılımı kullanarak araştırmışlar ve daha büyük bir spoiler boyutu, diğer boyutlara kıyasla en yüksek basma kuvvetini verdiğini ve yere basma kuvvetinin spoilerin alanı ile doğru orantılı olduğunu tespit etmişlerdir.

Hava kanallarının doğru akış analizi (CFD) için ağırlık kalitesi önem arz eder. Özellikle gerçek hayattaki uygulamalarda yaygın olarak karşılaşılan türbülanslı akışla uğraşırken büyük önem taşımaktadır. CFD çalışmaları için gerekli olan ağırlık kalitesini artırmak için farklı araçların kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır (Akilah ve ark.. 2018).

Sivakumar ve ark. (2019); bir aracın performansını aerodinamik özellikleri etkilendiğinden bahsederek, spoilerin çalışan bir aerodinamik cihaz olduğunu, aracı yavaşlatmak ve hava toplamak için kullanıldığından bahsetmiştir. Ayrıca bir araç modelinde arka rüzgarlık (spoiler) olmadan tasarlanmış model üzerinde analizler elde etmişlerdir. Çalışmasında farklı akışları incelemek için ANSYS-FLUENT yazılımını kullanarak aerodinamik etkiyi araştırmışlardır. Spoilerin, sürtünmeyi önemli ölçüde azalttığını da belirtmişlerdir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, optimum tasarımı elde etmek, zaman ve maliyetleri azaltmak için otomobillerin tasarımında yaygın olarak kullanılır. Araç tasarımı, araçların satın alma kararında önemli anahtardır. Otomobil üreticilerinin çok zor bir görevi var. Bu görev; tasarımıyla potansiyel alıcıları cezbedecek, otomobilin aerodinamiğini bozmayan veya yüksek hızlarda stabilizeye sahip bir otomobil inşa etmektir. Otomobilin yüksek hızlarda dengesini artırmak için arka spoileri araç gövdesine eklemek gerekir (Sitojonovic ve ark. 2020 ve Vasamsetti, 2020). Aerodinamik sürüklenme ve kaldırma katsayılarının belirlenmesi ANSYS yazılımı 14.5/Fluid Flow CFX modülü kullanılarak aerodinamik sürtünme katsayısının, arka spoiler sabitlendiğinde hafifçe arttığı (%3,4), ancak

aerodinamik kaldırma katsayısı değerinde önemli bir azalma olduğunu (%32) çalışmalarında tespit etmişlerdir (Sitojonovic, Vasamsetti, 2020).

Spoilerin daha yüksek hız için araca aşağı doğru basma kuvveti oluşturarak dengeli hareket etmesini sağlayan bir otomotiv kaporta sisteminin bir parçasıdır. (Nor ve ark. 2015).

Otomobillerdeki rüzgarlık sürtünmeyi azaltmak için kullanılan aerodinamik bir bileşen olduğu Daniel ve arkadaşları (2021), tarafından ifade edilmiştir. Aynı kişiler spoilerin birincil işlevinin aerodinamik sürtünmeyi azaltarak ve dengeyi arttırıp aracın yol tutuşunu sağlamak olduğunu belirtmişlerdir (Maji ve Mustafa, 2021).

Binek karayolu taşıtlarının korumasız alt gövdedeki sürtünmeyi azaltmak için yaygın olarak dikey deflektörlerin kullanılmakta olduğu ve bunların aerodinamik olmayan alt gövde boyunca akış hızını azalttığını ve böylece yüksek hızlarda gövde altı hava akışında bu çıkıntı yapan bileşenlerin sürtünmeyi azaltan bir etkisinin olduğunu ifade etmişlerdir (Patil, 2015).

Araştırmacılar modelledikleri çeşitli rüzgarlıkları otomotiv gövdeleri üzerindeki hava dirençlerinden kaynaklanan basınçların akış analizini incelemişlerdir (Cho, 2016).

Otomobillerde performans; güvenlikten, manevra kabiliyetinden, motordan, lastiklerden, aerodinamik yapıdan ve tasarım ergonomisi gibi çok disiplinli faktörlerden etkilenir. Son yıllarda sera gazını azaltma talepleri ve akaryakıt fiyatlarındaki enflasyon azaltma talepleri, otomobil aerodinamiğinin önemini yeniden ele almak gerektiğini göstermiştir. Aracın gövdesi, şehir içi sürüşte direncinin üstesinden gelebilmek için yaklaşık %3 yakıt kullanırken, otoyol sürüşlerinde %11 yakıt tüketmektedir. Otoyoldaki sürüşlerde dikkate değer yüksek yakıt tüketimi değeri, minimum tasarım değişiklikleri kullanılarak aracın aerodinamiğini geliştirmek birçok tasarım mühendisinin ilgi odağı olmuştur. Bununla birlikte, otomobillerdeki hız artışlarının da beklenmedik kazalara neden oluşturduğu bilinmektedir. Bunun için harici ekipman kullanma fikrini geliştiren çalışmalar vardır. Bunlardan biri de gövdeyi değiştirmeden mevcut araca takılabilen geliştirilmiş spoiler tasarımlarıdır. Bunlar araçları aerodinamik

olarak daha çekici hale getirmiştir. Arka rüzgarlığa etki eden kaldırma, sürüklenme ve basınç dağılımlarının etkisi, Autodesk Simulation (CFD) yazılım ile araştırılarak raporlanmıştır (Chandra ve Riyad, 2017).

Bu çalışmamızda kompozit malzemeden ve plastikten üretilen spoiler çalışılmıştır. Binek bir otomobil için bir spoiler tasarımı yapılarak sonlu elemanlar yöntemiyle kullanılacak iki malzeme analiz edilmiştir. Karbon fiber takviyeli malzemeden yapılan spoiler ile ABS plastik malzeme analiz edilerek sonuçlar sayısal değerlerle belirlenmiştir.

## 2. Malzeme ve Yöntem

### 2.1 Spoiler İçin Malzeme Seçimi

Bir spoiler üretiminde en önemli özellik kullanılacak malzemesi ve araç gövdesine uygun tasarımıdır. Bu çalışmada tasarımı yapılan spoiler Şekil 3'de ve spoiler malzemelerinin mekanik özellikleri ise Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir.

### 2.2 Sonlu Elemanlar Analizi ve Malzeme Ataması

Çalışmada sonlu elemanlar analizi ANSYS paket programında "statik structural" modülü kullanılarak yapılmıştır.

Çizelge 1-2'de verilen malzemelerin mekanik özellikleri ANSYS Engineering Data modülüne tanımlanmıştır.

**Çizelge 1.** Karbon Elyafın Mekanik Özellikleri [25].

Özellikler	Değer	Birim
Çekme Dayanımı	3421	MPa
Elastisite Modülü	230	GPa
Yoğunluk	1,76	g/cm <sup>3</sup>
Uzama	1,8	%

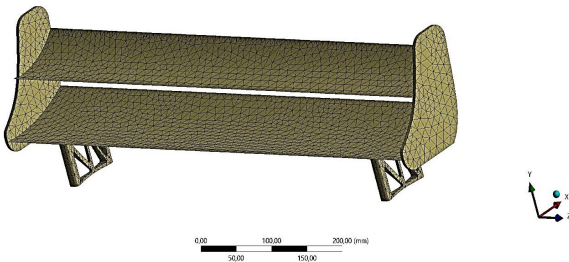
Karbon elyaf epoksi reçine içinde örgü formunda yatırma tekniği ile üretilmiş olarak modellenmiştir.

**Çizelge 2.** ABS malzemenin Mekanik Özellikleri

Özellikler	Değer	Birim	Metot
Yoğunluk	1,04	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D 1895
Rockwell B Sertlik	110		
Akma Dayanımı	51	MPa	ASTM D 638
Çekme Dayanımı Max 75 °C	42-50	MPa	ASTM D 638
Uzama	30	%	ASTM D 638
Eğilme Modülü	2750	MPa	ASTM D 790

### 2.2.1 Ağ (Mesh) Yapısının Oluşturulması

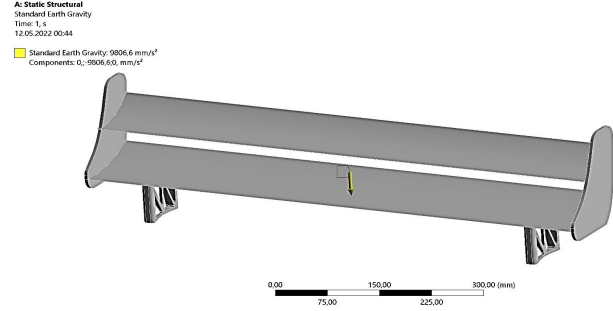
Tasarımı yapılan spoylelerin ANSYS'te geometrisi üzerinde ağ yapısı oluşturulur (Şekil 1). Analiz sonuçlarında gerçeğe yakın verilere ulaşabilmek için geometrik yapı üzerinde homojen bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Bu ağ yapısında 28120 düğüm noktası ve 13611 eleman sayısı bulunmaktadır.



**Şekil 1.** Spoyleler tasarımı ve geometrinin mesh yapısı

### 2.2.2 Yer Çekimi etkisi

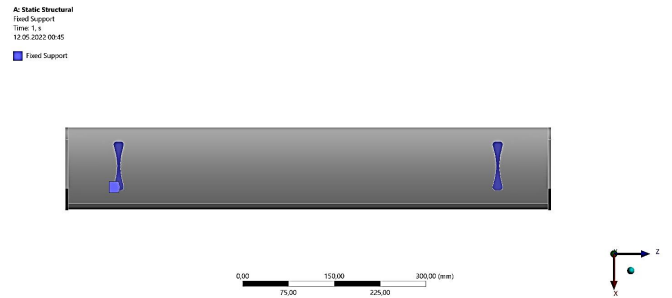
Spoyleler, araçlarda aracın hareketi sırasında etkisini gösterdiğinden ve analiz değerlerinin ideal şartlara uygun olması düşünüldüğü için analiz parametrelerine yer çekimi etkisi de görüldüğü gibi tasarımı dikkate alınarak tanımlanmıştır (Şekil 2).



**Şekil 2.** Yer çekimi etkisinin görünümü

### 2.2.3 Bağlantı noktaları

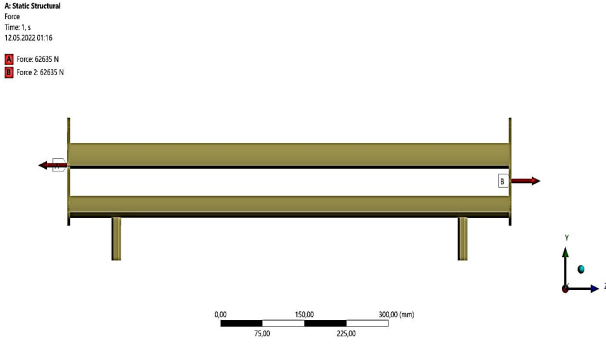
Spoylelerin araç gövdesi üzerinde rijit durumda olmasından dolayı bağlantı noktaları Şekil 3'de görüldüğü gibi tanımlanmıştır. Spoyleler aracın gövdesine iki noktadan bağlantı sağlandığı için bu noktalardaki oluşacak çekme, basma kuvvet değerleri alınmıştır.



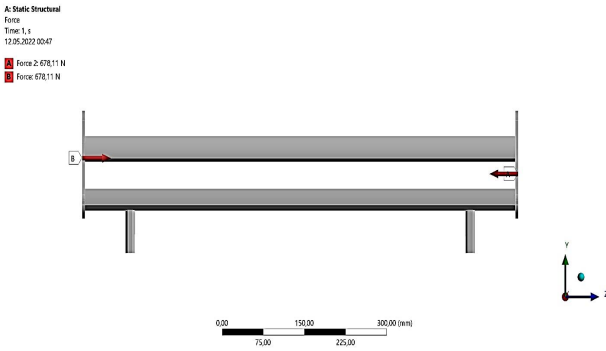
**Şekil 3.** Spoylelerin ankastre mesnet bölgesi

### 2.2.4 Kuvvet noktalarının seçilmesi

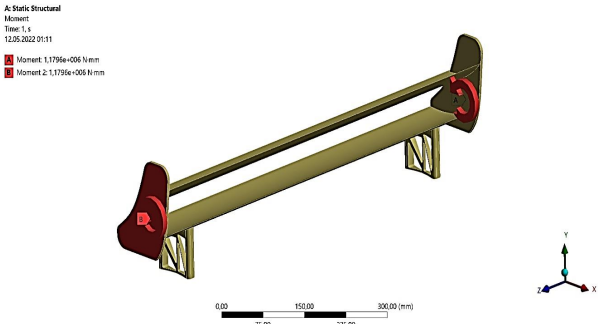
Spoyleler analiz çalışmasında tasarımı yapılan parça üzerinde çekme, basma ve burulma testleri yapılacağı için çeşitli kuvvet yüklemeleri Şekil 4 ve 6'de verilmiştir.



Şekil 4. Spoyer çekme kuvveti



Şekil 5. Spoyer basma kuvveti



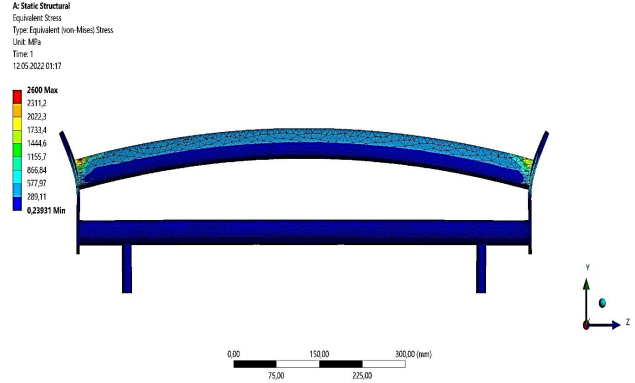
Şekil 6. Spoyer burulma momenti

### 2.2.5 Değerlendirme ve Sonuçlar

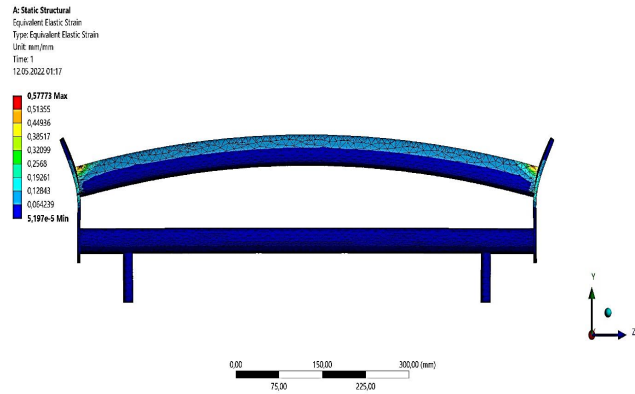
Karbon fiber ve ABS plastik malzeme kullanılarak tasarımı yapılan spoyerin çekme, basma ve burulma testi sonuçları ANSYS verileri değerlendirilerek uygunluğu araştırılmıştır. Analizlerde her iki malzemenin akma dayanımları referans alınarak maruz kalabilecekleri maksimum yükler analiz edilerek en düşük 2534,7 MPa ve en yüksek 2622,9 MPa değerleri belirlenmiştir.

### 3. Sonuçlar

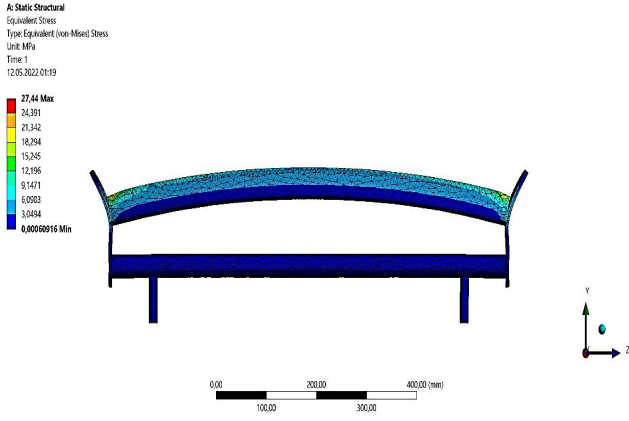
Karbon fiber malzemenin kullanılması ve bu malzemeye çekme testi uygulandığında maksimum 62635 N çekme kuvveti kritik nokta olarak değerlendirilmiştir. Diğer ABS malzemede ise çekme kuvvetinin maksimum 823,8 N olabileceği hesaplanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen değerler ve görseller ve şekil değiştirme dağılımları Şekil 7-10'da gösterilmiştir.



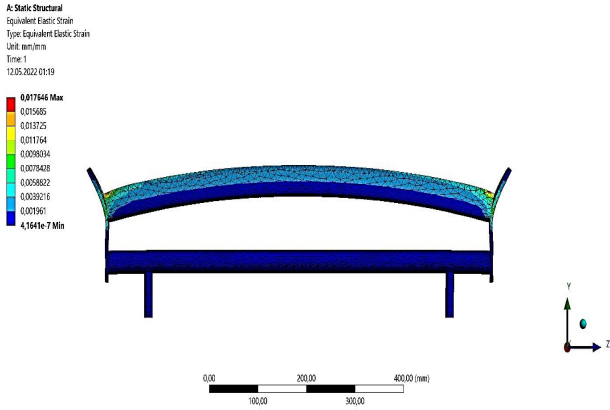
Şekil 7. Karbon fiber malzemenin çekme analizi sonucu ve gerilim değerleri



Şekil 8. Karbon fiber malzemenin plastik deformasyon değerleri



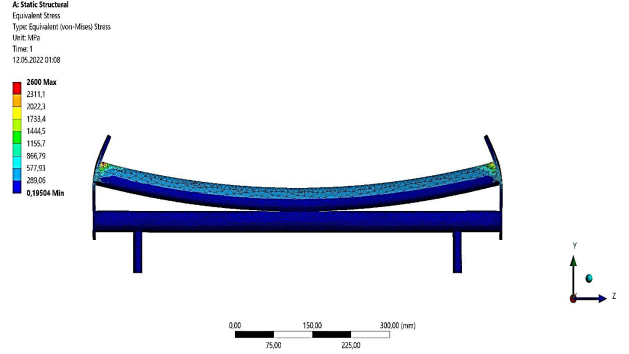
Şekil 9. ABS malzemenin çekme analizi sonucu oluşan gerilme değerleri



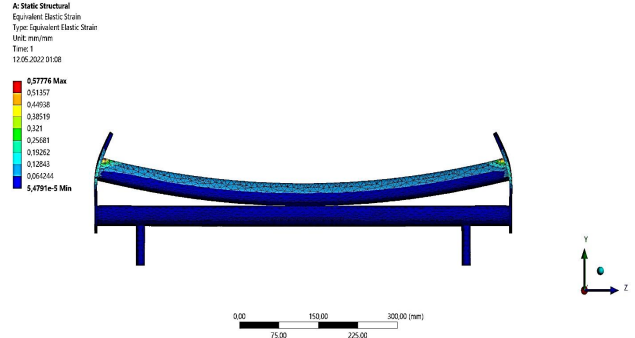
Şekil 10. ABS malzemenin çekme analizi ve plastik deformasyon değerleri

### 3.2 Basma Analizi Sonuçları

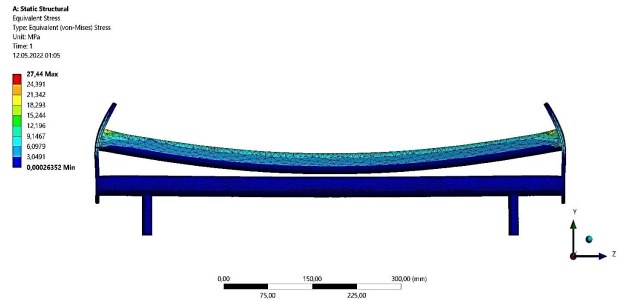
Karbon fiber malzemeye basma analizi uygulandığında maksimum 62668 N değerine kadar kullanılabilceği görülmektedir. Benzer şekilde bu durum ABS malzemede ise maksimum 857,1 N olabileceği değerlendirilmiştir. Bu analiz sonuçları Şekil 14-17'de gösterilmiştir.



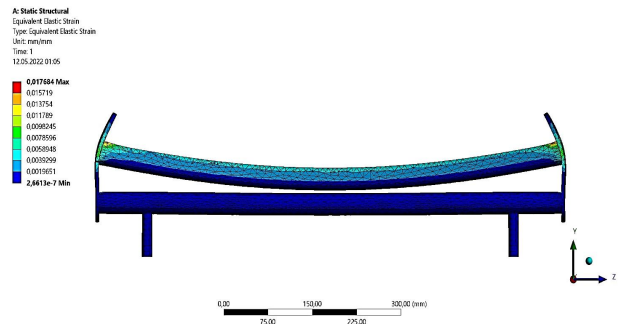
Şekil 11. Karbon fiber malzemenin basma analizi sonucu gerilme değerleri



Şekil 12. Karbon fiber malzemenin basma analizi sonucu plastik deformasyonu ve değerleri



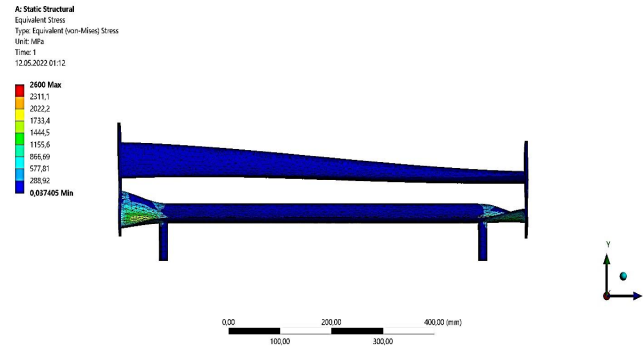
Şekil 13. ABS malzemenin basma analizi sonucu gerilme değerleri



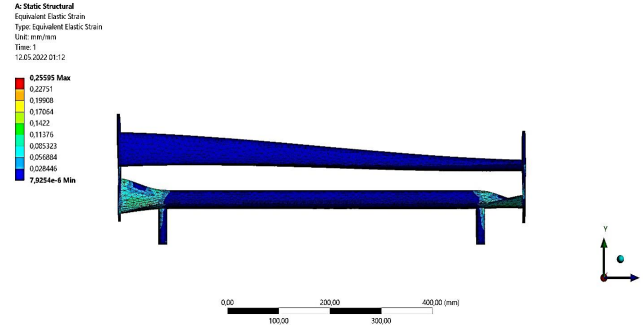
Şekil 14. ABS malzemenin basma analizi sonucu plastik deformasyon değerleri

### 3.3 Burulma Analizi Sonuçları

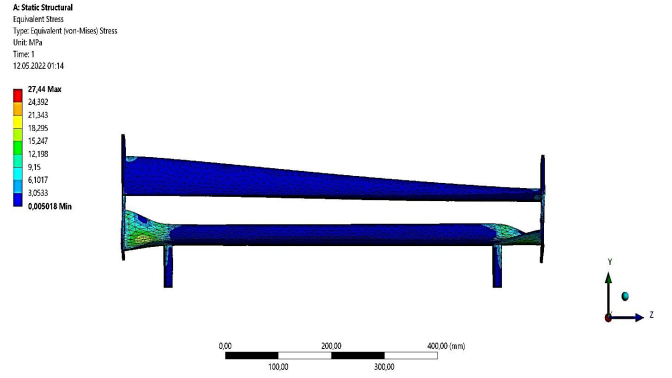
Spoyerin araç üzerindeki montaj bölgelerinde araç hızı ve çevresel faktörlere bağlı oluşan burulma mesnet değerleri hesaplanarak Şekil 15-18'de verilmiştir. Karbon fiber malzemeden yapılan spoyerin burulma test sonucunda maksimum 2600 MPa değerine kadar plastik deformasyon oluşabilmektedir. ABS malzemenin burulma test sonucunda maksimum 27,44 MPa değerinde plastik deformasyona izin verebileceği belirlenmiştir.



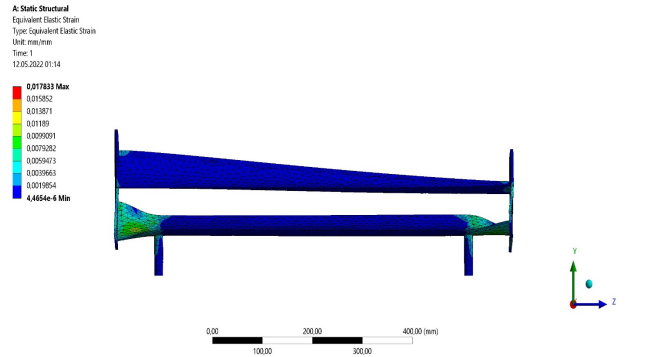
Şekil 15. Karbon fiber malzemenin burulma analizi sonucu gerilme değerleri



Şekil 16. Karbon fiber malzemenin burulma analizi sonucu plastik deformasyon değerleri



Şekil 17. ABS malzemenin burulma analizi sonucu gerilme değerleri



Şekil 18. ABS malzemenin burulma analizi sonucu plastik deformasyon değerleri

### 4. Tartışma ve Sonuç

Tasarımı yapılan ve katı modelleme yapılarak ANSYS analizi ile değerlendirilen ABS ve karbon fiberden malzemelerin mekanik analiz sonuçları değerlendirildiğinde karbon fiber yaklaşık olarak akma ve burulma mukaveti maksimum 2600 MPa kadar dayanım gösterebileceği belirlenmiştir. Bu malzemedeki %uzama (deplasman) değeri maksimum 0,2559 değerinde olduğu görülmüştür (Çizelge 3-6).

ABS malzeme analizlerinde maksimum akma ve burulma mukavemeti 27,44 MPa değerinde oluşmuştur. Bu malzemeye ait % uzama (deplasman) değerleri maksimum 0,5777 değerinde olduğu tespit edilmiştir. Mukavemet özellikleri olarak karbon fiber kullanımı uygun görülürken maliyet ve üretim kolaylığı açısından ABS plastiklerin kullanılmasının daha uygun olacağı söylenebilir.

**Çizelge 3.** Karbon Elyaf Akma Dayanımı

Malzeme	Özellik	
	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama (mm)
Karbon Elyaf	2600	0,5135
	2311,2	0,4493
	2022,3	0,3851
	1733,4	0,3209
	1444,6	0,2568
	1155,7	0,1926
	866,84	0,1284

**Çizelge 4.** Karbon Elyaf Burulma Dayanımı

Malzeme	Özellik	
	Burulma Mukavemeti (MPa)	% Uzama (mm)
Karbon Elyaf	2600	0,2559
	2311,1	0,2275
	2022,12	01990
	1733,4	0,1706
	1444,6	0,1422
	1155,7	0,1926
	866,69	0,1137

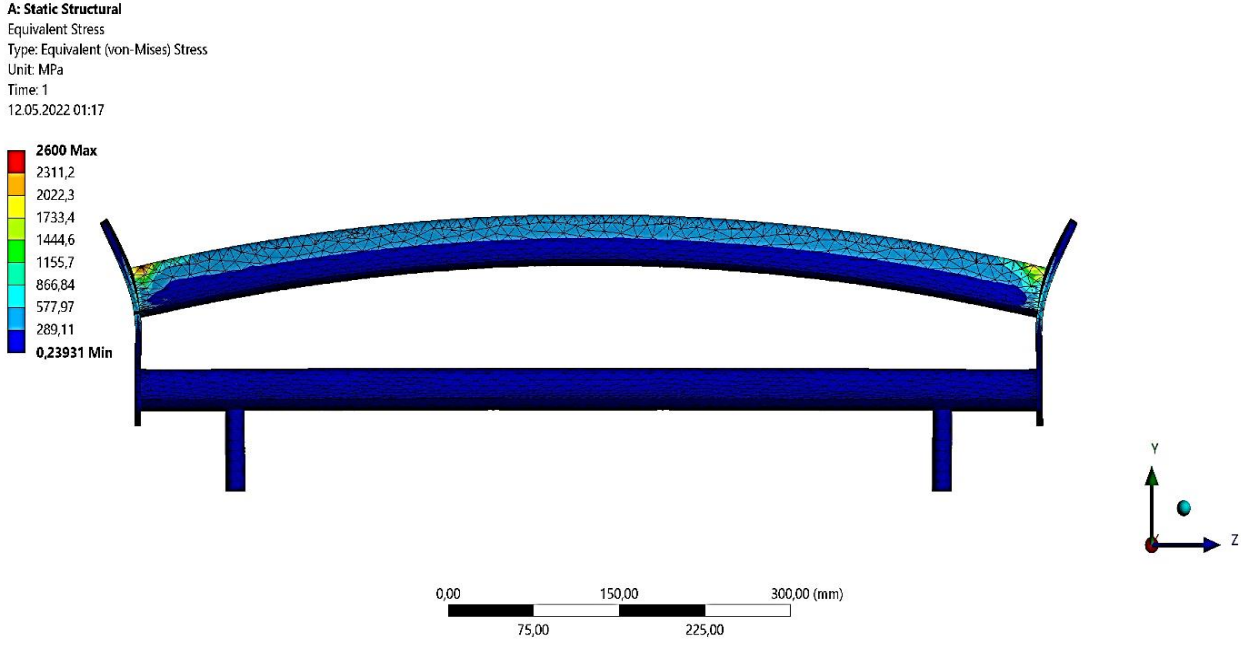
**Çizelge 5.** ABS malzemenin Akma Mukavemeti

Malzeme	Özellik	
	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama (mm)
ABS Malzeme	27,44	0,0176
	24,391	0,0137
	21,342	0,0128
	18,294	0,0117
	15,245	0,0098
	12,196	0,1926
	9,1471	0,0078

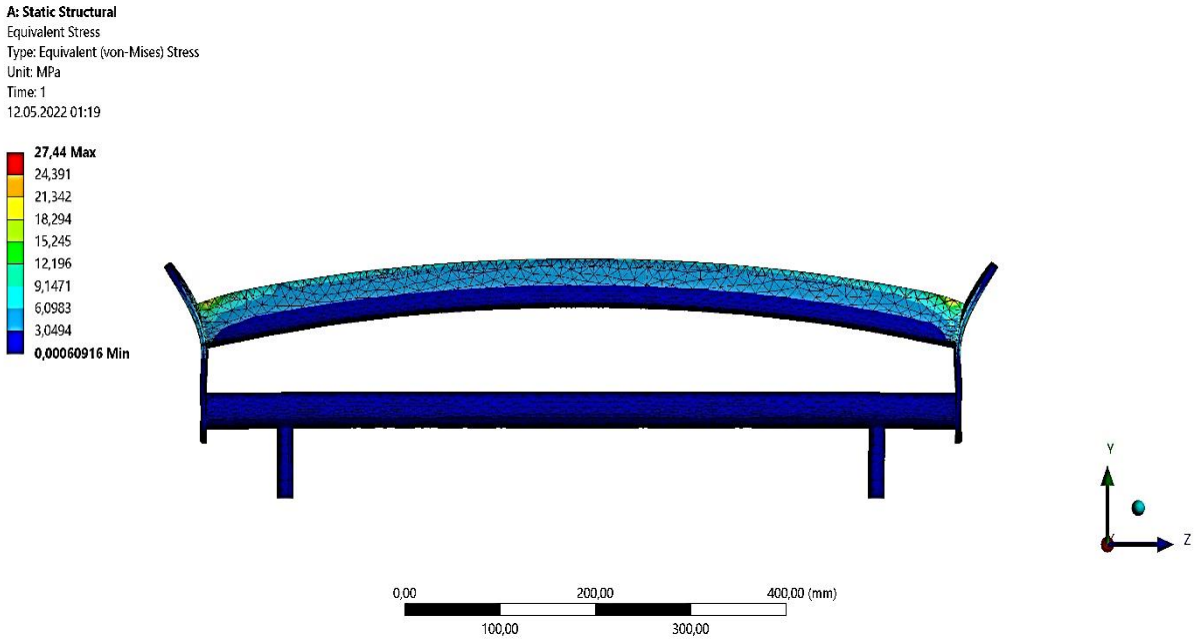
**Çizelge 6.** ABS malzemenin Burulma Mukavemeti

Malzeme	Özellik	
	Burulma Mukavemeti (MPa)	% Uzama (mm)
ABS Malzeme	27,44	0,0178
	24,92	0,0158
	21,34	0,0118
	18,29	0,0099
	15,24	0,0077
	12,19	0,0059
	9,15	0,0039

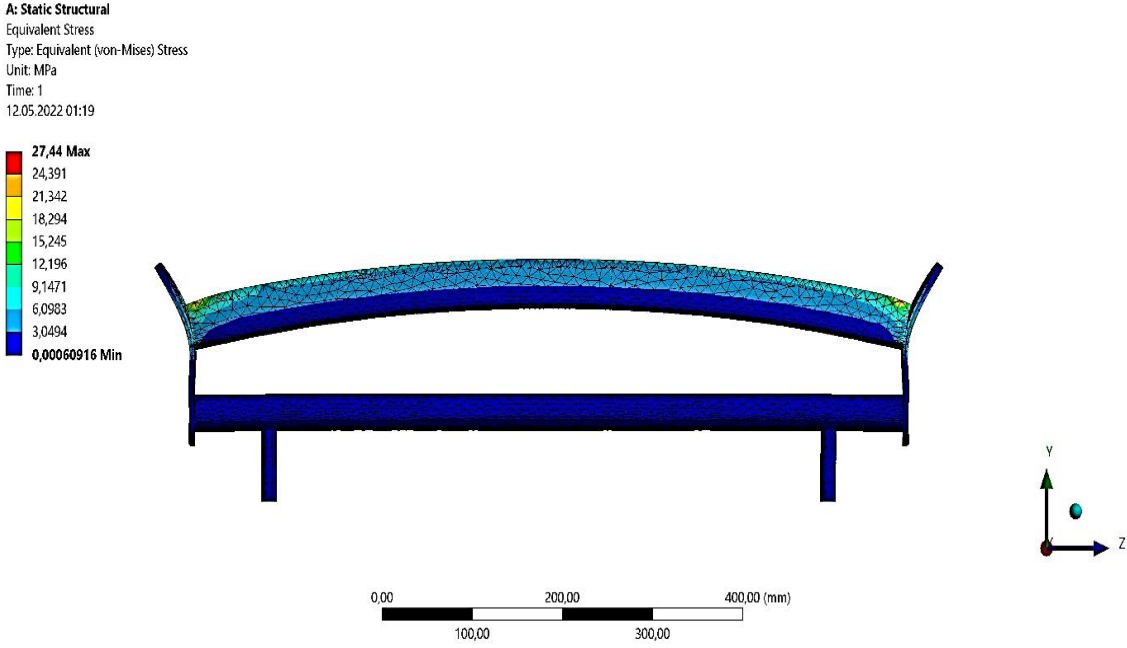




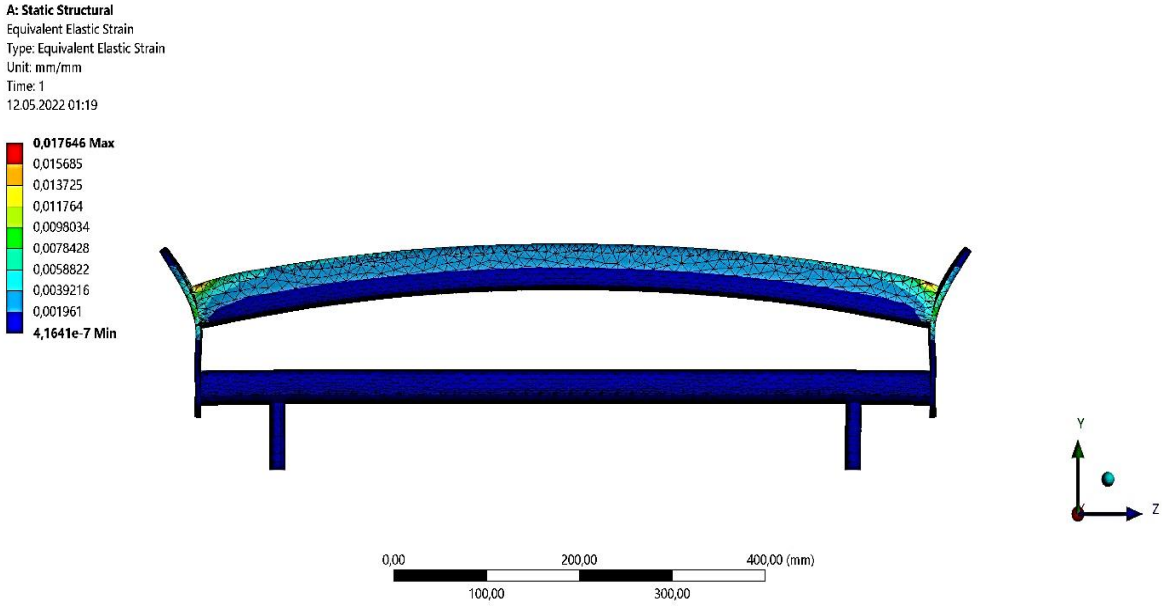
Şekil 19. Karbon fiber malzemenin çekme analizi gerilim değerleri



Şekil 20. Karbon fiber malzemenin çekme analizi plastik deformasyon değerleri



Şekil 21. ABS'nin çekme analizi gerilme değerleri



Şekil 22. ABS'nin çekme analizi plastik deformasyon değerleri

Tasarımı yapılan parçaların, Sonlu Eleman Analizi (FEA) uygulamaları ve sektörel çözümleri her anlamda firmalar için önem arz etmektedir. Bu yöntem nümerik analiz tabanlı çözümler sunarken ilk olarak analizi yapılacak herhangi bir karmaşık şekli, çok sayıda düzenli / basit şeklin (dikdörtgen, üçgen vb.) toplamıyla değiştirmek suretiyle çözüme gider. Bu şekiller daha sonra orijinal parçayı doğru bir şekilde modellemek için birleştirilir. Bu daha

küçük, daha basit şekiller sonlu elemanlar olarak adlandırılır, çünkü bu tür her şekil orijinal, karmaşık şekil içinde sonlu bir alt alanı kaplar. Örneğin, bir motoru, uçağı, bir makine bileşenini veya iskeleti daha küçük, daha basit bileşenlerden oluşan şekilde görselleştirmek daha kolaydır. Sonlu elemanlar modellemeyi kolaylaştırır (Küçük ve ark. 2018). Şekil 19'da karbon fiber malzemenin çekme gerilmesi değerleri verilmiştir. Buna göre bu

malzemeden yapılan spoilerin dayanım değerleri açısından oldukça yeterli olduğu söylenebilir. Bunun yanında basma ve burulma test değerleri de karbon fiber malzemenin ABS den daha mukavemetli olduğu görülmektedir. Bununla birlikte otomobil üreticileri mukvetin yerine görseliği yani aracın albenisini daha ön plana çıkarmaktadırlar. Genellikle müşterilerin otomobil üzerindeki görsellik ve estetik hissini ön plana çıkardığı yapılan araştırmalarda görülmüştür (Arlı, N. B 2022). Otomobil satışlarında görsel kaygılardan dolayı satış rekabeti ön plana çıkmaktadır. Bu durum otomobil fiyatlarının arttığı son zamanlarda firmaların satacakları otomobilleri olabildiğince hızlı ve estetik göstermeye çalışıyor olmaları rekabeti daha ön plana çıkarmıştır. Son yıllardaki müşteri memnuniyetinde otomobillerin gövde tasarımı belirgin olarak kendini göstermektedir. Özellikle üreticiler otomobillerin spor görüntüsünü spoiler kullanarak öne çıkarmayı hedefliyor olmaları göze çarpmaktadır. Bununla birlikte spoiler diğer bir adı ile kanat neredeyse her binek otomobil için aksesuar olarak satın alınabilmektedir. Bu çalışma spoiler üretiminde kullanılacak malzeme türü ve tasarımı gün geçtikçe önemini arttırmaları nedeni ile araştırma konusu olarak seçilmiştir. Spoiler malzemesi ile birlikte buna verilecek estetik görünüm dayanımla birleştirilmesi mühendislik açısından oldukça önem kazanmaktadır.

ABS malzeme, mühendislik malzemelerinden olup enjeksiyon yöntemiyle üretimi seri olarak gerçekleştirilebilmektedir. Karbon elyaf malzeme ise uygun bir reçine ile beraber katmanlı olarak el işçiliği gerektiren bir üretim tekniği ile üretilmektedir. İki malzeme arasında yüksek mukavemet farkları olması ham madde ve üretim maliyetleri dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Yüksek hızlarda araçlarda aerodinamik etkilerin artması ile yüksek mukavemetlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür araçlarda karbon elyaf malzeme içeriği tavsiye edilirken, hafif binek otomobillerde ve ticari araçlarda ABS malzeme spoiler üretiminde uygun bir malzeme olarak düşünülebilir.

## KAYNAKLAR

- Aris M.H.M., Darlis N., Ishak I.A., Sulaiman S., Jaat N., Abdul Fathul Hakim A.F., 2021. CFD Analysis of Rear Spoiler Activity in Malaysian National Speed Limit Sedan, *Journal of Automotive Powertrain and Transportation Technology*.
- Arlı, N. Arlı, B., Öztürk, M., Öztürk, U., Umut S., 2022. Kansei mühendislik modeli ile otomobil sürücü koltuğunun tasarımı, *Bursa Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, (doktora tezi)
- Arulshri, K.P., Kumar S.S., Nesalingam, R., 2021. Analysis Of Automobile Rear Dynamic Spoiler, *International Journal of Aquatic Science*, **12**(3), 519-525.
- Chanyang, K., Jaeyoung, H., Seokmoo H., 2022. Air-Cooled Valuation of Spoiler Model at smooth Lithium-Ion Battery Pack temperature, *Proceses*, **10**(3), 505.
- Çakır M., 2012. CFD Study On Aerodynamic Effects Of A Rear Wing/Spoiler On A Passenger Vehicle, Santa Clara University, Mechanical Engineering, Master of Science.
- Evlen H., Erel G., Yılmaz E., 2018. Açık ve Kapalı Sistemlerde Doluluk Oranının Parça Mukavemetine Etkisinin İncelenmesi, *Politeknik Dergisi*, **21**(3), 651 - 662.
- Guda N.T., Surisetti B.V., Kolla S.R.C., Vasamsetti S., 2020. Increasing the Aerodynamic Performance of a HatchBack Model Passenger Car Using Ansys Fluent Software, *Mukt Shabd Journal*, Vol IX, Issiu V.
- Han M.W., Rodrigue H., Cho S., Song S.H., Wang W., 2016. Woven type smart soft composite for soft morphing car spoiler, *Composites Part*, **86**, sayfa 285-298.
- Işıktaş A., 2019. Alüminyum Karbon Elyaf Sandviç Levhaların Bükme İşlemi Sonrası Geri Esnemelerinin İncelenmesi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora tezi.
- Ilyas R.A., et al., 2022, Natural-Fiber-Reinforced Chitosan, Chitosan Blends and Their Nanocomposites for Various Advanced Applications, *Polymers*, **14**(5), 874.
- Kamran, S.S., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., Prakash, C., Budhhi, D., 2022, Automotive AI and advanced hardware, applications and perspectives, *Materials Today Proceedings*, **62**(6), 4207-4214.
- Kurec K., Remer M., Mayer, T., S Tudruj S., 2019. Flow control for a car-mounted rear wing, *International Journal of Mechanical Sciences*, **152**, pp 384-399.
- Kurec K., Remer M., Mayer T., S Tudruj S., 2019. Flow Analysis Based on Automotive Spoiler Configuration,

- International Journal of Mechanical Sciences*, **152**, March, pp 384-399.
- Kyei, S.M., Composite Car Rear Spoiler, Degree Thesis, Arcada University, Helsinki, 2014
- Lee, J.-C., Park, D.-H., Jung, H.-S, Lee, S. H., Jeong, W. Y., Kim, K.-Y., Lim, D. Y., 2020. Design for Carbon Fiber Lamination of PMI Foam Cored CFRP Sandwich Composite Applied to Automotive Rear Spoiler, *Fibers and Polymers*, 21(1), 156-161.
- Mansor M.R., Sapuan S.M., Hambali A., 2015. Kenaf Polymer Composite Automotive Spoiler Conceptual Design Using TRIZ and Morphology Table Methods, *Applied Mechanics and Materials* Vol. 761.
- Patil S., Lietz R., Woodiga S., Ahn H., Larson L., Gin R., 2015. Fluid Structure Interaction Simulations Applied to Automotive Aerodynamics, *SAE 2015 World Exhibition*, 1-5.
- Sanjay D. Patil, Vikas T. Mujmule, Ajay P. Mahale, Suhas A. Jagtap, and Ganesh S. Patil. 2022. "Effects of Vortex Generators on Aerodynamic Drag Force in the Hatchback Type Car". *ARAI Journal of Mobility Technology*, **2** (2)183-191.
- Sarkar S., Thummar k., Shah N., Vagrecha V., 2019, CFD Analysis of Passenger Car from Various Rear-end Spoiler Perspectives, *International Research Journal of Engineering and Technology*, (6)1
- Sapuan S.M., Iyas R.A. and Asyraf M.R.M., 2021. Potential of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites in Sandwich Structures: A Review on Its Mechanical Properties, *Polimers* pp. 15-33
- Sivakumar P., Rajalakshmi N., Shalini M., Malath N., 2019. Vehicle Aerodynamic Analysis, *IRJET*, **6** (4).
- Stojanović N., Miloradović D., Abdullah O., 2020. Effect of Rear Spoiler Shape on Car Aerodynamics and Stability, *New Technologies, Development, and Applications*, s.340-347.
- Uçar M.F., Yaşar M., 2018. Yeni Bir Araba Arka Spoiler Tasarımı, Araç Üzerine Uygulanması ve Yakıt Ekonomisine Katkısı *14th International Combustion Symposium (INCOS2018)*
- Wafi, A., Basha, M H., Tasyrif, M., Hamid M F., 2021. Aerodynamics Analysis of UniMAP Automotive Racing Team Formula SAE race car spoiler via simulation: Effect of Spoiler Size *Journal of Physics Conf Ser*, 2051.
- Zhang WX., Wang YZ., 2002. Production of Carbon Fibers from CoSO<sub>4</sub> Maumellated Polyacrylonitrile Precursors, *Journal of Applied Polymer Science*, **85**(1), 153-158.

Araştırma Makalesi / Research Article

e-ISSN 2667-4165 (<https://dergipark.org.tr/akuumbd>)

## Akrilik Örme Kumaşlarda Renk Değişimi ve Desen Değişiminin Performans ve Isıl Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Edanur Turgut<sup>1\*</sup>, Züleyha Değirmenci<sup>1</sup> & Muhammed İdris Aktaş<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gaziantep University, Department of Textile Engineering, Gaziantep/Turkey.

<sup>2</sup> Boyar Kimya San. ve Tic. A. Ş. Gaziantep/Turkey.

e-mail: <sup>1</sup>[eda.alpsln@gmail.com](mailto:eda.alpsln@gmail.com) ORCID ID:0000-0003-3113-0222, <sup>1</sup>[degirmenci@gantep.edu.tr](mailto:degirmenci@gantep.edu.tr) ORCID ID:0000-0002-8669-4968, <sup>2</sup>[idris.aktas@gmail.com](mailto:idris.aktas@gmail.com) ORCID ID: 0000-0002-7141-7984.

### Öz

#### Anahtar kelimeler

"Akrilik; Isıl Soğurganlık; Patlama Mukavemeti; Hava Geçirgenliği, İplik Mukavemeti."

Bu araştırmada kullanılacak numuneler, iplikler 35/2 Nm %100 akrilik olacak şekilde üretilmiştir. İplikler [%40 Akrilik (2.75 dtex), %60 Akrilik (2,2 dtex)] karışım oranlarından oluşmakta ve bu liflere tow boyama işlemi uygulanmıştır. Bu elyaf boyama işleminde 2 grup oluşturularak 2 açık renkli elyaf, 2 orta renkli elyaf, 2 koyu renkli elyaf ve 2 süper koyu boyalı elyaf üretilmiş ve toplam 8 boyalı iplik elde edilmiştir. Elde edilen ipliklerden ribana ve düz örgü kumaşlar üretilmiştir. Elde edilen on altı numune üzerinde kalınlık, hava geçirgenliği, termal direnç, patlama mukavemeti ve iplik mukavemeti testleri yapılarak sıcaklık ve boyama sürelerinin boyama reçetelerine etkisi araştırılmıştır.

## Investigation of The Effect of Colour Variation and Pattern Change on Performance and Thermal Properties of Acrylic Knitted Fabrics

### Abstract

**Keywords**  
"Acrylic; Thermal Absorptivity; Bursting Strength; Air Permeability; Yarn Strength."

Samples that are going to be used in this research are produced in such a way that the threads are 35/2 Nm 100% acrylic. The yarns consist of [40% Acrylic (2.75 dtex unrelax), 60% Acrylic (2.2 dtex relax pilling)] mixing ratios and tow dyeing process has been applied to these fibers. In this fibre dyeing process, by creating 2 groups, 2 light colored fibers, 2 medium-colored fibers, 2 dark colored fibers and 2 super dark dyed fibers were produced and a total of 8 dyed yarns were obtained. Rib and plain knit fabrics were produced from the yarns obtained. The effects of temperature and dyeing times on dyeing recipes were investigated by performing thickness, air permeability, thermal resistance, bursting strength and yarn strength tests on sixteen samples obtained.

## **1. Introduction**

The textile industry mainly consists of companies covering yarn, knitting, weaving, nonwovens, dyeing and finishing processes. Dyeing and finishing processes are significant in textile enterprises. Dyeing processes have a wide variety of methods. Among these, there are methods that are actively used in many stages such as fiber dyeing, printing dyeing, bobbin dyeing, fabric dyeing. Operations differ in each dyeing method. Among these methods, tow dyeing method, which is among the fiber dyeing methods, is the most common dyeing methods. If considered the tow dyeing (fiber) method, it is a high temperature and high-pressure dyeing method that takes place in large dye boilers, which is a type of dyeing in which tonnage dyeing takes place depending on the demand. There are many things that differ from the temperatures of the dye boilers to the dyeing times.

Dyeing processes and chemicals differ for each fiber type. Each fiber has different dye recipes, and they are processed in different ways. Acrylic fibers, which are among the synthetic fibers, require dyeing because they are colourless (Jiang et al. 2021). Acrylic fiber is one of the most popular synthetic fibers and its annual production was ~2.2 million tons/year in 2010. [(David and Geoffrey, 1990), (Kamel et al. 2010), (Tiyek and Bozdoğan, 2005)]. Acrylic fiber, which has high strength values, is resistant to abrasion, and has a widespread use in the clothing industry due to its extraordinary physical and chemical properties [(Tiyek and Bozdoğan, 2005), (Sadeghi and Tehrani, 2015)]. Due to the extraordinary properties of acrylic fiber and the demand for this fiber, the demand for acrylic dyeing is also remarkably high.

It is quite difficult to dye 100% acrylic fibers. The reason for this is that the crystalline regions form a tight fiber structure in fibers produced from 100% acrylonitrile and there is no functional group to which the dyestuff can attach. In order to penetrate the dyestuff into the small amount of amorphous region sufficiently, it is necessary to exceed 100 °C. Although it is predicted that the temperature increase in dyeing will increase the speed of the dyeing process, chemical ratios are also important at this point. If the retarder rate is

not as high as it should be, it can be clearly seen that it affects the dyeing speed (Sadeghi and Tehrani, 2022). Acrylic fibers are brittle, hard or cannot be dyed with any dye due to the absence of reactive regions, and they are heat-hardening fibers. Often acidic comonomers are added because acrylic fibers are mostly dyed with basic dyes (Tunç, 2012).

When dyeing acrylic fibers, it is necessary to know the properties of dye baths. Dye bath temperatures are especially important at this stage. In the dyebath cooling process, controlled cooling should occur until it drops below average 70°C and the material should be in a still state. Besides, it should not be exceeded above average 120°C. Above this temperature, the fiber becomes shorter and wrinkled. The importance of auxiliary chemicals, pH value, softening chemicals and similar active substances during dyeing is of immense importance in dyeing processes (Saçak, 2007).

The aim of this study is to get to know acrylic fiber closely and to analyze its behavior towards dyeing procedures. The optimization of the dyeing recipes was achieved by evaluating the temperature and time, with particular emphasis on the effects of thermal performance on acrylics.

## **2. Materials and Methods**

### **2.1. Materials**

35/2 Nm 100% Acrylic yarns were used in the samples. This yarn consists of mixtures of [40% Acrylic (2.75 dtex unrelax), 60% Acrylic (2.2 dtex relax pilling)]. In addition, the reason for providing such a mixing ratio in acrylic yarns is to obtain a voluminous yarn structure. High volume yarns are obtained by providing a mixture of relax and unrelax in acrylic yarns. The fiber dyeing of the yarns used in the trials was as follows; By creating 2 groups, 2 colored dyed fibers, 2 medium-colored fibers, 2 dark colored fibers and 2 super dark dyed fibers were produced and a total of 8 dyed threads were obtained. These products are both plain knit, and rib knit. A total of sixteen samples were obtained. The effects of temperature and dyeing times on dyeing recipes were investigated by performing air permeability, thickness, unit weight, bursting test and yarn strength tests on the samples obtained.

### 2.1.1. Dyeing Chemicals

In auxiliary chemicals, acetic acid (Gr/lit 0.8), leveling (Sasol HK- 250: Gr/lit 0.5), Fiber protective (Migrasit ACM: Gr/lit 0.3), Retarder (it is given according to dye 4 types of chemicals are used).

Softening chemicals are given 3 different softening chemicals: acedic acid (Gr/lit 0.8), Imidazoline (Ak Soft SD-16: 1.5%), Polyethylene Dispersion (Akpil A4: 0.2%).

In acrylic dyeing, the dye ratios vary according to the color tone. In acrylic dyeing, the ratios of auxiliary chemical and softening chemicals recipes were applied as standard in light, medium, dark, and super dark dyeings.

### 2.1.2. Dyeing Procedure

While auxiliary chemicals and softening chemicals are kept constant in the dyeing process, dyeing temperature and dyeing times may vary according

to the lightness and darkness of the color. To give an example of this situation, in acrylic dyeings, the dyeing time can take between 3 and 4 hours in dyeings in which the light color coil dyeing method is used, while it can take an average of 5 hours in tow dyeing methods. The reason for this may vary depending on the amount of yarn or fiber and the tone of the product dyed. In addition to the effect of dyeing in yarn or fiber form on the dyeing time, the duration and temperatures for each of them vary in light, medium, dark and super dark dyeing. As stated during the dyeing process, many factors are calculated, and dyeing is done.

There are some points mentioned in the chart below. At these points, auxiliary chemicals in dyeing are given at the temperature and time at point A. The dyestuff is given at the temperature and time at point B. At point C, softening chemicals are given at temperature and time.

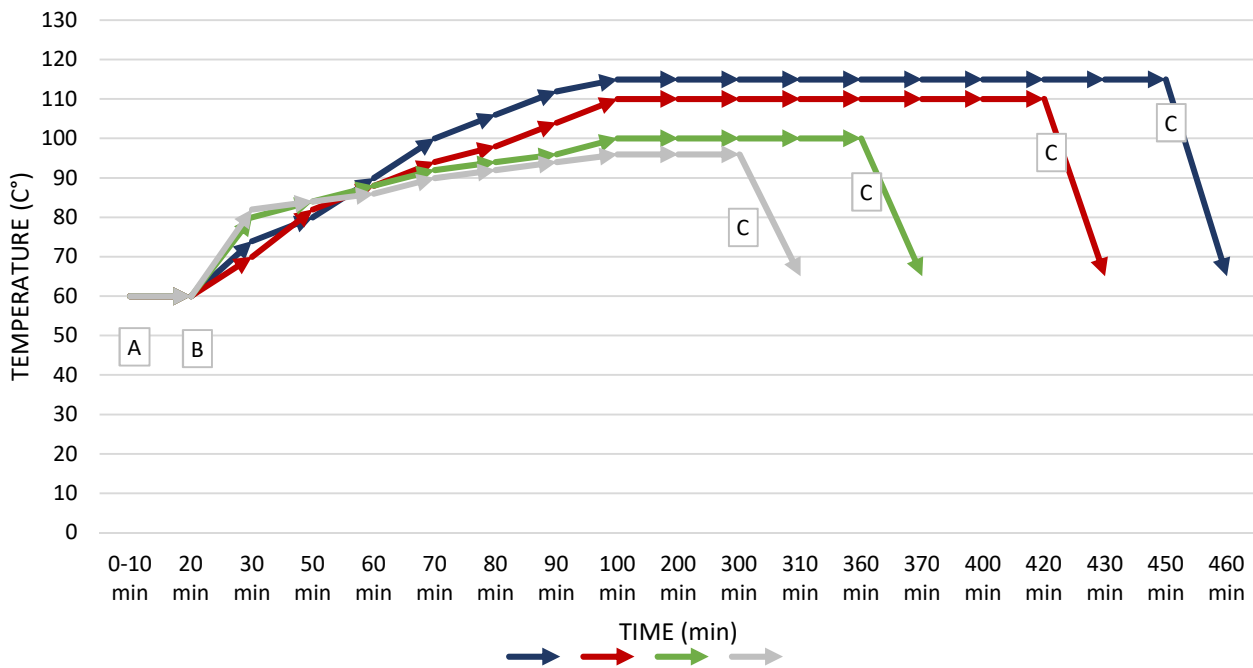


Figure 1. Temperature and time graph in acrylic dyes.

The dyeing start temperature is 60°C for all colors. In acrylic tow dyeing, super dark and dark colors are dyed longer and at higher temperatures than light and medium colors. In other words, it is observed that as the color darkens, the temperature and time increase.

The reason for these high temperatures in super dark dyeing is generally black and navy-blue tones of dark-colored products and it is because these colors have to reach very high temperatures in order to fully absorb the dyes into the fiber.

### 2.1.3. Knit Fabric

Two types of knitting patterns were used for yarns numbered 35/2. Knitting models are determined as plain knitting and rib. Sample knitting machines were knitted in a manual sample knitting machine with a size of E12 for flat knitting and a manual sample knitting machine with a number of E10 for rib knitting.

## 2.2. Methods

### 2.2.1. Yarn Strength

While testing the samples, James Heal Titan Universal Strength Tester device was used for yarn strength test in accordance with EN ISO 2062 (250 mm 250mm min) standards. The test was carried out by taking 20 measurements for each sample.

### 2.2.2. Bursting Strength

In bursting tests on samples using a James Heal TruBurst bursting strength tester were determined by the standard of TS 393 EN ISO 13938-2. For the bursting test, 50 cm test material was used and 3 measurements were taken from each fabric sample.

### 2.2.3. Air Permeability

For the air permeability test, the samples were applied in the M 021A air permeability test device of SDL-Atlas company, based on the TS 391 EN ISO

9237 "Determination of air permeability in textile fabrics" test standard, with a pressure drop of 100 Pa and an area of 20 cm<sup>2</sup>.

### 2.2.4. Alambeta

The thermal conductivity, thermal absorbance and thermal resistance parameters of the fabrics were determined by measuring with the ALAMBETA tester. Each sample was carried out by taking 3 measurements from the fabric.

### 2.2.5. Fabric Structural Properties

The samples were tested with the DM 2000 thickness gauge and tested in accordance with ISO 4593 standards. It was tested by taking measurements from 10 different points of each sample. In Table 1, the thickness, unit weight, WPC (number of row loop/cm) and CPC (number of row loop/cm) values of rib (It is a type of fabric obtained by knitting technique with 2×2 and 1×1 two rows of straight and two rows of reverse loops.) and plain knit fabrics (It is a type of knitting made with a single yarn without creating any pattern) are indicated.

### 2.2.6. Statistical Analysis

Statistical analyzes were applied to the test results obtained. Test results were analyzed and interpreted with DESIGN EXPERT 13.

**Table 1.** Fabric structural properties.

Samples	Name of Samples	Fabric Types	Thickness, (mm)	Unit weight, (g/m <sup>2</sup> )	WPC	CPC
Light Color 1	LC1	plain	1,08	196	13	15
		ribana	2,1	341	12	18
Medium Color 1	MC1	plain	0,97	163	13	15
		ribana	2,04	367	13	18
Dark Color 1	DC1	plain	1,05	167	13	15
		ribana	2,01	350	12	19
Super Dark Color 1	SDC1	plain	1,22	167	12	15
		ribana	2,1	367	12	19
Light Color 2	LC2	plain	0,83	183	12	15
		ribana	2,03	338	12	18
Medium Color 2	MC2	plain	0,86	179	12	15
		ribana	2,02	354	12	18
Dark Color 2	DC2	plain	0,93	165	12	15
		ribana	2,02	330	12	19
Super Dark Color 2	SDC2	plain	0,91	181	13	15
		ribana	1,98	355	12	19



### 3.Result and Discussion

#### 3.1. Yarn Strength

In Figure 2, the yarn endurance test results in the yarn strength test are given.

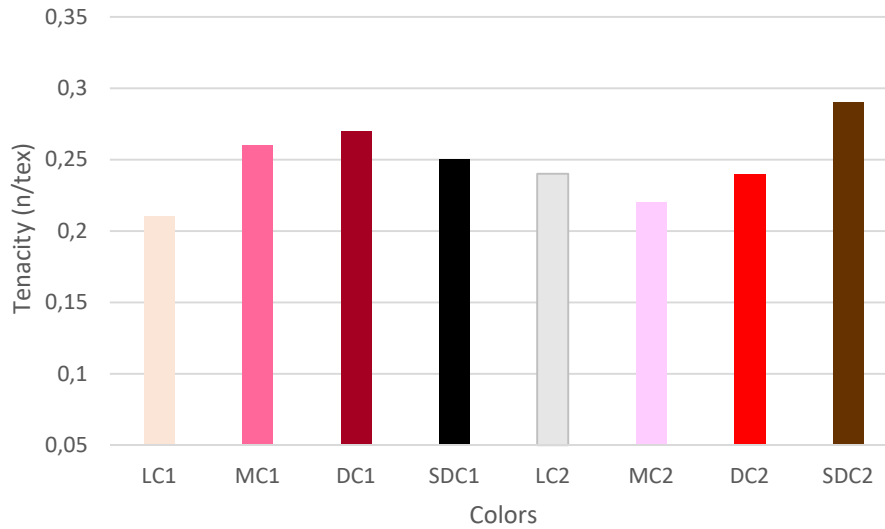


Figure 2.Yarn tenacity test results.

It is observed that the yarn strength test results are close to each other. SDC2 gives better results with slight differences compared to other colors.

In from Figure 3, the yarn extensibility values in the yarn strength test can be seen.

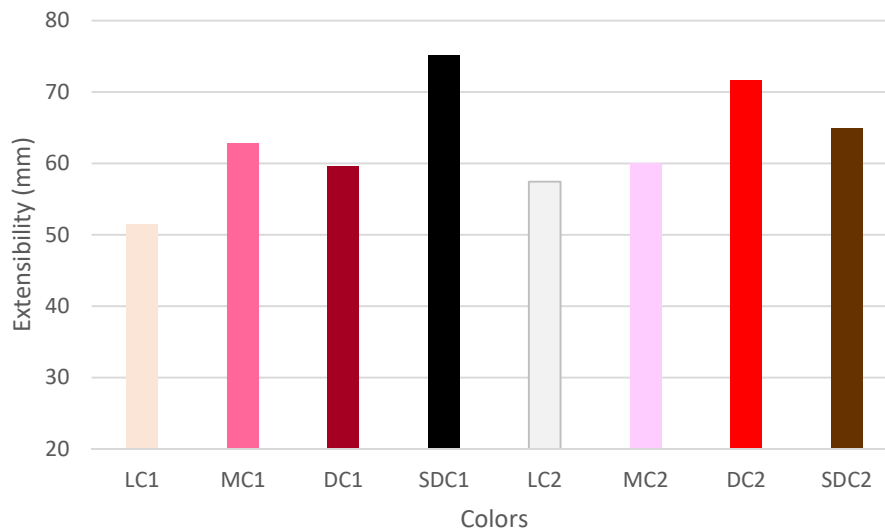


Figure 3.Yarn extensibility test results

When the yarn extensibility values are examined, the highest extensibility is observed in SDC1. It can

be observed that the lowest extensibility value is in LC1 color

#### 3.2. Bursting Test

In Figure 4, the bursting strength test results are seen. performed for each plain knitted and rib sample

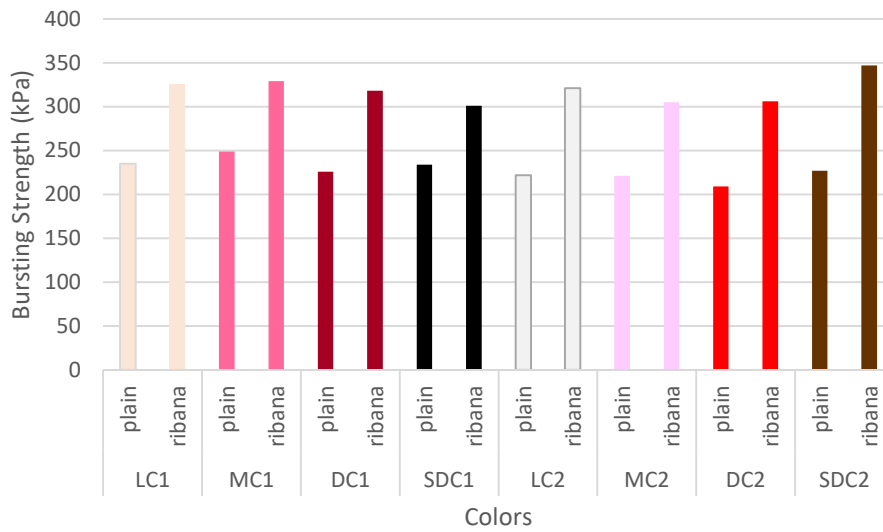


Figure 4. Bursting strength test results.

According to Figure 4, color variations is not decisive on bursting strength while pattern is highly effective. Additionally, it is thought that ribana is

stronger than plain fabrics which are lighter and thinner than the ribana ones according to Figure 4.

### 3.3. Air Permeability

In Figure 5, air permeability test values for rib and plain knit fabrics can be observed.

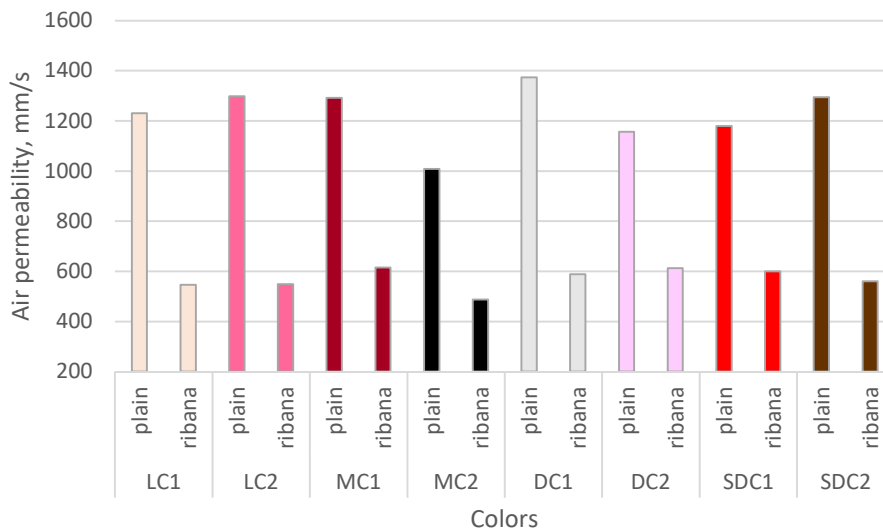


Figure 5. Air permeability test results.

When looking at Figure 5, it can be observed that the knitting pattern is an effective parameter on air permeability, while it is observed that color variation has no effect on air permeability. When

plain fabrics are examined in themselves, it is observed that the highest air permeability value is in the LC2, and the lowest air permeability is in the color SDC1. When the rib fabrics are examined

within themselves, their air permeability results are close to each other.

In the air permeability test, a significant difference is observed between plain, and rib knit fabrics in general. The reason for this is that as the thickness of the knitted fabrics increases due to the

structural differences of the fabric, it is observed that it becomes difficult for the air to pass over the fabric. Therefore, it is seen that the air permeability values are higher because plain fabrics have a thinner and more hollow structure than rib knit fabrics. (Türksoy, Üstüntağ ve Çarkıt, 2017)

### 3.4. Thermal Conductivity, Thermal Absorptivity and Thermal Resistance

Thermal conductivity test results are given in Figure 6.

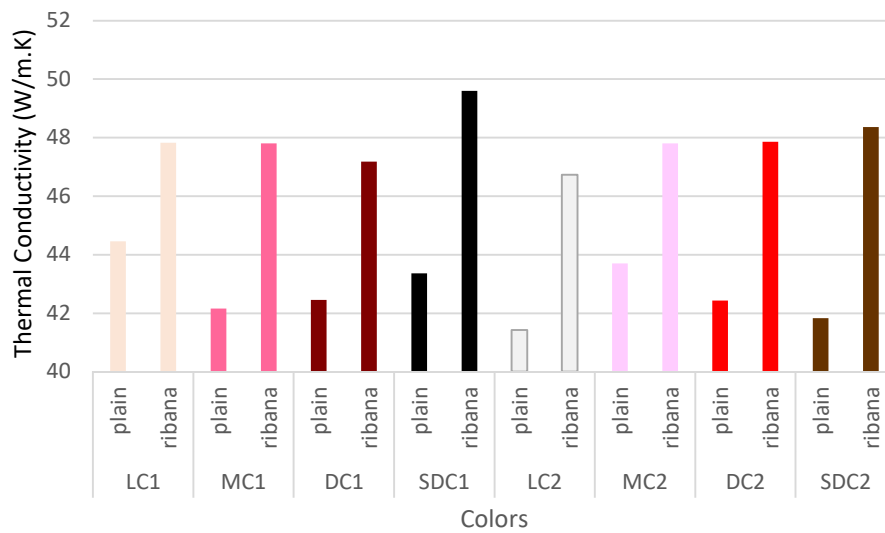


Figure 6. Thermal conductivity test results.

In the thermal conductivity test results in Figure 6, it is observed that the highest thermal conductivity is in SDC1 and the lowest thermal conductivity is in LC2 among rib fabrics. It has been obtained that the highest thermal conductivity in plain fabrics is in LC1, unlike rib fabrics, and the lowest thermal conductivity is in LC2.

Rib and plain fabrics should not be compared with each other in thermal conductivity, thermal

absorbency, or thermal resistance tests. Because the void structure ratio or density ratios in plain fabric are not the same as rib fabric, it is necessary to compare these fabrics within themselves. (Uyanık ve Kaynak, 2018)

Thermal absorptivity test results are given in Figure 7.

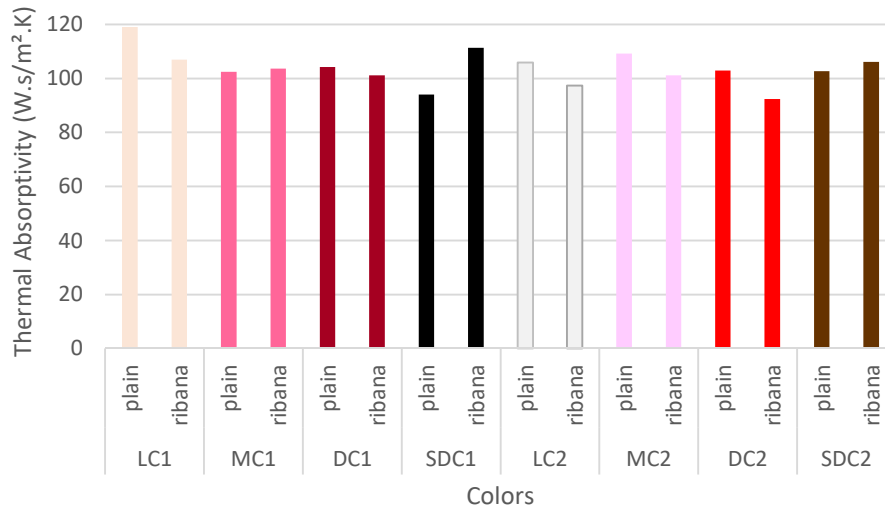


Figure 7. Thermal absorptivity test results.

When the thermal absorptivity test results are examined, it is observed that the highest thermal absorptivity value is in LC1 plain and SDC1 rib fabric is in the second place. It was concluded that the color and knitting pattern did not have effect on the thermal absorptivity.

change on the thermal absorbance of the fabric, since the specific heat values of all fabrics are between 1.46-2.16 J/g-°C and the thermal conductivity is between 0.187-0.209 W/m-K. thermal results were close to each other.

The results show that even though the changes (thickness, weight, stitch density) caused by dyeing on the structural properties of the fabrics cause

Thermal resistance test results can be seen in Figure 8.

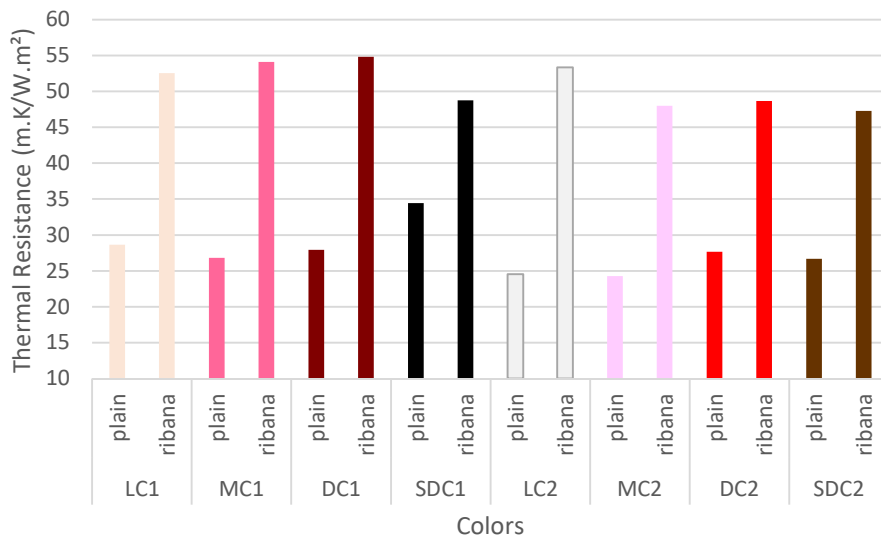


Figure 8. Thermal resistance test results.

In the thermal resistance results, it was obtained that the highest thermal resistance in plain fabrics was SDC1, while the lowest thermal resistance was in MC2. In rib fabrics, it is observed that the highest thermal resistance is in DC1 color and the lowest thermal resistance is in SDC2.

The thermal transmittance value of acrylic fibers is 200 mW/m\*K and the thermal transmittance value of still air is known as 25 mW/m\*K. There is an inverse relationship between thermal transmittance and thermal absorptivity. In addition, as the fabrics get thicker, the air in the

fabric also increases. Therefore, the thermal permeability of the air in the pores of the stitch causes a decrease in the thermal absorption values of the fabrics. As is known, the specific heat value of acrylic fiber is (1.46-2.16 J/g-°C). Higher thermal permeability, specific heat, and lower thickness of fabrics result in lower thermal absorption. (Değirmenci and Çelik, 2016)

#### 4. Statistical Analyses

Statistical analyses of the study is carried out by Design Expert 13.0 package programme. And one way ANOVA test results are presented in Table 2.

Pattern and color variations are the dependent variables and bursting strength, air permeability, thermal absorptivity, thermal resistance, thermal conductivity, thickness, unit weight and stitch density are the responses. According to this table if the P-values less than 0,0500 indicate model terms are significant. In this case This parameter is a significant model term. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

**Table 2.** Statistical analyses.

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Bursting strength</b>	<b>Model</b>	35066,25	8	4383,28	36,37	< 0.0001	Significant
	<b>Pattern</b>	33306,25	1	33306,25	276,32	< 0.0001	Significant
	<b>Colour</b>	1760,00	7	251,43	2,09	0,1765	Not significant
<b>Air permeability</b>	<b>Model</b>	1,805E+06	8	2,256E+05	45,37	< 0.0001	Not significant
	<b>Pattern</b>	1,736E+06	1	1,736E+06	349,14	< 0.0001	Significant
	<b>Colour</b>	68584,44	7	9797,78	1,97	0,1955	Not significant
<b>Thermal absorptivity</b>	<b>Model</b>	291,28	8	36,41	0,7676	0,6430	Not significant
	<b>Pattern</b>	25,83	1	25,83	0,5446	0,4845	Not significant
	<b>Colour</b>	265,45	7	37,92	0,7995	0,6124	Not significant
<b>Thermal resistance</b>	<b>Model</b>	2231,33	8	278,92	25,42	0,0002	Significant
	<b>Pattern</b>	2172,73	1	2172,73	197,99	< 0.0001	Significant
	<b>Colour</b>	58,60	7	8,37	0,7629	0,6349	Not significant
<b>Thermal conductivity</b>	<b>Model</b>	115,15	8	14,39	25,55	0,0002	Significant
	<b>Pattern</b>	106,76	1	106,76	189,50	< 0.0001	Significant
	<b>Colour</b>	8,39	7	1,20	2,13	0,1703	Not significant
<b>Thickness</b>	<b>Model</b>	4,55	8	0,5694	106,87	< 0.0001	Significant
	<b>Pattern</b>	4,46	1	4,46	837,64	< 0.0001	Significant
	<b>Colour</b>	0,0921	7	0,0132	2,47	0,1278	Not significant
<b>Unit weight</b>	<b>Model</b>	1,234E+05	8	15422,75	73,67	< 0.0001	Significant
	<b>Pattern</b>	1,227E+05	1	1,227E+05	585,99	< 0.0001	Significant
	<b>Colour</b>	706,94	7	100,99	0,4824	0,8215	Not significant
<b>Stitch density</b>	<b>Model</b>	5940,00	8	742,50	19,41	0,0004	Significant
	<b>Pattern</b>	5402,25	1	5402,25	141,24	< 0.0001	Significant
	<b>Colour</b>	537,75	7	76,82	2,01	0,1889	Not significant

According to Table 5 except thermal absorptivity pattern is a significant model term on all responses

while colour is not a significant factor. Consequently, it is concluded that color is not a

selective parameter on air permeability, thermal conductivity, bursting strength and structural parameters of knitted sample fabrics whereas pattern is effective on these properties.

#### 4.1. Optimization

In this study by using Design Expert statistical software optimization is applied. Used yans in this

study are generally used in winter season. According to the seasonal preferences constraints are determined and given in Table 3.

The importance level of the criterias are selected as five for the parameters determined as maximum or minimum others are selected as three for the parameters determined as in range.

**Table3.** Constraints of the samples according to winter season

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
Pattern	is in range	Level 1 of A	Level 2 of A	1	1	3
Color	is in range	Level 1 of B	Level 8 of B	1	1	3
Bursting strength	maximize	209	347	1	1	5
Air permeability	minimize	488	1373	1	1	5
Thermal absorptivity	minimize	92,33	119	1	1	5
Thermal resistance	maximize	24,26	54,8	1	1	5
Thermal conductivity	minimize	41,43	49,6	1	1	5
Thickness	maximize	0,83	2,1	1	1	5
Unit weight	is in range	163	367	1	1	3
Stitch density	is in range	180	234	1	1	3

**Table 4.** Solution of the optimization constraints.

Number	Pattern	Color	Bursting	Air permeability	Thermal absorptivity	Thermal resistance	Thermal conductivity	Thickness	Unit weight	Stitch density	Desirability	
1	Ribana	SDC2	317,125	651,063	100,324	50,583	46,663	1,958	348,063	216,375	0,714	Selected

Table 4 shows that ribana pattern and SDC2 sample is the best fabric type for winter season with 0,714 desired value.

#### 5. Conclusion

As a result of this study when examining the effect of color difference and pattern change on the performance and thermal properties of acrylic knitted fabrics, the colors preferred by people according to seasonal differences are different. This is because dark colors store the heat they absorb from the sun. In this study, it was

investigated whether this theorem gives a result in direct proportion to the thermal comfort properties, but it was found that the variations in colors did not cause a significant effect on both thermal properties and air permeability. The strength results also confirm the thermal comfort results. Serious differences are observed between rib and plain fabric in the bursting test, because the flexibility due to the double needle bed causes more elongation in the stitches and this elongation increases the bursting strength of the fabrics, but the color change does not have a significant effect

on the bursting strength. When the air permeability of the fabrics is considered, the closed air and space structure inside the loops of the rib fabric is more than the plain fabric. Therefore, due to the structural differences in terms of low thickness, unit height and static air inside the ribana fabric, the air permeability of the plain fabric is higher than the air permeability of the rib fabric. On the other hand, color differences between samples had no significant effect and air permeability static analyzes corrected the tested results. Therefore, it has been decided that the pattern is a more effective parameter than the color on the performance of the fabric produced from the same raw material. Within 16 samples the most convenient sample is selected as ribana and SDC2 one with 0,714 desired value according to determined constraints which are important for winter season.

#### Acknowledgments

The writers would like to express their sincere thanks to BOYAR KİMYA SAN. VE TİC. A.Ş./Gaziantep for supplying of the yarns and the samples. This study was done with the project supported by Gaziantep University/Gaziantep.

#### 6. References

- Sadeghi-Kiakhani, M., & Tehrani-Bagha, A. R. (2016). Retarding action of poly(amidoamine) dendrimers and cationic gemini surfactants in acrylic dyeing. *Dyes and Pigments*, 125, 323–330. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2015.10.037>.
- Jiang, H., Guo, G., Chen, W., & Cui, Z. (2021). Reactive dyeing of synthetic fibers employing dyes containing a diazine moiety. *Dyes and Pigments*, 194, 109555. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2021.109555>.
- R. David, H. Geoffrey. (1990). The Chemistry and Application of Dyes, *New York and London*.
- M.M. Kamel, H.M. Helmy, H.M. Mashaly, H.H. Kafafy. (2010). Ultrasonic assisted dye-ing: dyeing of acrylic fabrics C.I. Astrazon Basic Red 5BL 200%, *UltrasonicsSonochem*. 17 92–97.
- Sadeghi-Kiakhani, M., & Tehrani-Bagha, A. R. (2015). Cationic ester-containing Gemini surfactants as retarders in acrylic dyeing. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 479, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2015.03.030>
- Uyanık S. & Kaynak H. 2018. Pamuklu/Elastan Süprem Kumaşlarda Fiziksel, Boyutsal ve Görünüm Özellikleri. *Journal of Textiles and Engineer*. Cilt (Vol): 25 Sayı (No): 110. <https://doi.org/10.7216/1300759920182511007>.
- Saçak M., 2007. *Lif ve Elyaf Kimyası*.Cilt(Vol): 2. 978- 975-8640-26-3.
- Türksoy H., S. Üstüntağ and G. Çarkıt. 2017. Thermal Comfort Properties of Fabrics Knitted from Bamboo/Cotton Blended Yarns. *Dokuz Eylül University-Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*, Volume 19, Issue 56, May 2017. DOI: 10.21205/deufmd.2017195649.
- Değirmenci, Z. and N. Celik. 2016. Investigation of Thermal Comfort Properties of Jeggings Manufactured by the Use of Knitted Denim-Like Fabrics. *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 44, No. 1, pp. 268– 279, doi:10.1520/JTE20140165. ISSN 0090-3973.
- Yavaşcaoğlu A., Eren R. and Süle G. 2018. Effects of Usage Acrylic Yarn on Thermal Comfort and Moisture Management Properties of Woven Shirting Fabrics. *Tekstil Ve Konfeksiyon* 28(2).
- TİYEK, İ., & Bozdoğan, F. (2005). Akriklik lif üretiminde koagülasyon banyosunun önemi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3), 319-323.
- Tunç, S. (2012). Meta aramid kumaşın boyanması, haslık yönünden elyaf boyalı meta-aramid kumaşlarla karşılaştırılması (Master's thesis, Namık Kemal Üniversite

## Leonarditin Hidrosiklon ile Ön Zenginleştirilmesinin Hümik Asitin Alkali Liç Eldesindeki Etkisi

İsmail Bentli<sup>1\*</sup>, Uğur Demir<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Merkez Kampüs, 44280, Malatya.

<sup>2</sup> Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Evliya Çelebi Yerleşkesi, Kütahya.

e-mail: <sup>1\*</sup> ismailbentli@gmail.com, ORCID ID:<http://orcid.org/0000-0003-3775-7341>

<sup>2</sup> ugur.demir@dpu.edu.tr, ORCID ID:<http://orcid.org/0000-0001-8828-4711>

Geliş Tarihi: 22.12.2022 Kabul Tarihi: 23.03.2023

### Öz

#### Anahtar kelimeler

Leonardit; Hidrosiklon,  
Alkali liç; Hümik asit;  
Organik gübre.

Artan nüfusla birlikte tarımsal alanlarda verim artışını sağlamak amacıyla, organik gübre kullanımı giderek yaygın hale gelmektedir. Organik gübre yapımında kullanılan en verimli kaynağın leonardit olduğu bilinmektedir. Leonarditten potasyum hidroksit (KOH) ile alkali liç yapılarak, humat adı verilen hümik asit ve fülvik asit içerikli organik gübre üretilmektedir. Bu çalışmada, Uşak il sınırları içerisinde bulunan ve özel bir şirket tarafından işletilen leonardit yataklarından alınan temsili numuneler üzerinde karakterizasyon çalışmaları yapılmış ve kil içerikli safsızlıkların hidrosiklon ile uzaklaştırılmasından sonra KOH ortamında humat üretimi gerçekleştirilmiştir. Liç öncesi kil mineralleri olarak bulunan safsızlıkların giderilmesinde hümik asit kazanımında %11.5'e varan artışlar belirlenmiştir. Bununla beraber liç öncesi safsızlıkların uzaklaştırılmasının organik gübre üretim sürecinde birçok kolaylık sağlayacağı açıktır.

## The Effect of Leonardite Preconcentration by Hydrocyclone on Alkaline Extraction of Humic Acid

### Abstract

#### Keywords

Leonardite;  
Hydrocyclone, Alkaline  
leaching; Humic acid;  
Organic fertilizer.

With the increasing population, the use of organic fertilizers is widening in order to increase productivity in agricultural areas. It is known that leonardite is the most efficient source used in organic fertilizer production. By alkaline leaching of leonardite with potassium hydroxide (KOH), organic fertilizers containing humic acid and fulvic acid, called humate, are produced. In this study, characterization of representative leonardite samples obtained from deposits, located in Uşak (Turkey) province and operated by a private company, were carried out. After removing the clay-containing impurities from samples by hydrocyclone, humate production was carried out in KOH medium. It was determined that the removal of impurities before leaching increased the humic acid recovery up to 11.5%. It was also seen that removing impurities before leaching facilitated the organic fertilizer production process.



## 1. Giriş

Kömür, biyokimyasal ve jeokimyasal aşamalardan geçtikten sonra oluşan fosil enerji yakıtıdır. Maruz kalmış oldukları bu aşamalara göre, kalite sırasıyla turba, linyit, taş kömürü ve antrasitler oluşmaktadır (Kemal ve Arslan 2010). Leonardit ise özellikle turba ve linyit yataklarının dış kısmında ve yüzeye yakın en üst kademesinde bulunmaktadır (Olivella vd. 2002, Aylan vd. 2000, Piccolo ve Mbagwu 1989). ABD'nin kuzey Dakota eyaletinde Dr. Leonard tarafından keşfedildiği için bu isim verilirken ve bazı ülkelerde humat, organik humat veya humus olarak da isimlendirilmektedir (Young ve Frost 1963).

Leonardit ve kömür arasındaki en büyük fark, leonarditin yüksek orandaki oksijen ve poroziteye sahip olması ve yakıt olarak kullanımının az olmasıdır (Kural 1991). Büyük yumuşak linyit yataklarının kenarlarında bulunan leonarditler ticari olarak, katı halde toprak koşullandırıcı ve organik sıvı (Humat) elde edilerek değerlendirilmektedir. (Piccolo vd. 1997). Verimli topraklarda bulunan humat, biyolojik aktivasyon sonucu hümik ve fulvik asitlere dönüşmektedir. Hümik asit, kimyasal bir iletişimci gibi toprakta bloke olmuş besin maddelerini çözerek kendi bünyesine almakta ve ortam koşullarına ayak uydurmaya yardımcı olmaktadır. Fulvik asit ise çözünen bu besin maddelerinin bitkiler tarafından kolayca alınmasını sağlamakta, bitkinin gelişimine yardımcı olmakta, toprağı beslemekte ve toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirmektedir. Hümik asit ile yapılan tarla ve sera deneme üretimlerinde, bitki verimlerinde artış, toprakta nem kaybında azalma ve toprağın tarıma elverişli hale getirilmesinde iyileşmeler saptanmıştır (Karaca vd. 2006, Turgay vd. 2011, Kolay vd. 2016, Namlı vd. 2017, Namlı vd. 2019). Son yıllarda ülkemizde, çeşitli linyitlerden hümik asit üretimi, karakterizasyonu ve kullanım alanlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar öne çıkmaktadır (Lobartini vd. 1992, Demirbaş 2002, Demirbaş 2003, Francioso vd. 2003, Giannouli vd. 2009, Zara vd. 2017). Literatürde toprak düzenleyici ve gübre olarak kullanılmak üzere Arguvan (Birinci

ve Şentürk 2021), Malkara ve Yatağan (Özkan ve Özkan 2017) linyitleri ile alkali liç çalışmalarından olumlu sonuçlar alınmıştır. Başka bir çalışmada Elbistan linyitlerinin oksidasyonundan (Yıldırım 2001) ve nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) ile reaksiyonundan sonra amonyum hidrohümat veriminin %80'lerin üzerine çıktığı tespit edilmiştir (Yıldırım ve Özbayoğlu 1997). Fırat vd. (2016) ise Elbistan Gıda-Leonarditlerinden alkali liç ile %33'e kadar hümik asit elde edebilmiştir. Ayrıca Konya (Beyşehir, Ilgın ve Ermenek) linyitlerinden hümik asit üretilmiş ve katyon değiştirme kapasitesinin yüksek olması nedeniyle ağır metal adsorplama çalışmalarında kullanılmıştır (Pehlivan ve Arslan 2006).

Leonarditin başlıca kullanım alanları literatürde Ay (2015), Engin ve Cöcen (2012), Demir ve Bentli (2011) tarafından ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Ancak en önemli kullanım alanları tarımda toprak düzenleyici ve alkali liç ile organik sıvı (hümik-fulvik asit) üretimidir. Piyasada çok çeşitli kalitede leonardit bulunmasına rağmen genel kabul görmüş kalite standardı Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Leonarditin piyasada kabul görmüş kalite çeşitleri (Engin ve Cöcen 2012).

Kompozisyon	Düşük Kalite	Orta Kalite	Yüksek Kalite
Hümik asit içeriği (%)	35-50	50-65	65-85
Organik madde mikt. (%)	< 35	< 50	< 65
pH değeri	6,5±1	5,5±1	4±1
Karbon/Azot (C/N)	21±1	19±1	17±1
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	1,4±0,1	1,2±0,1	0,8±0,1
Bazik solüsyonda çözünürlük	Düşük	Orta	Yüksek

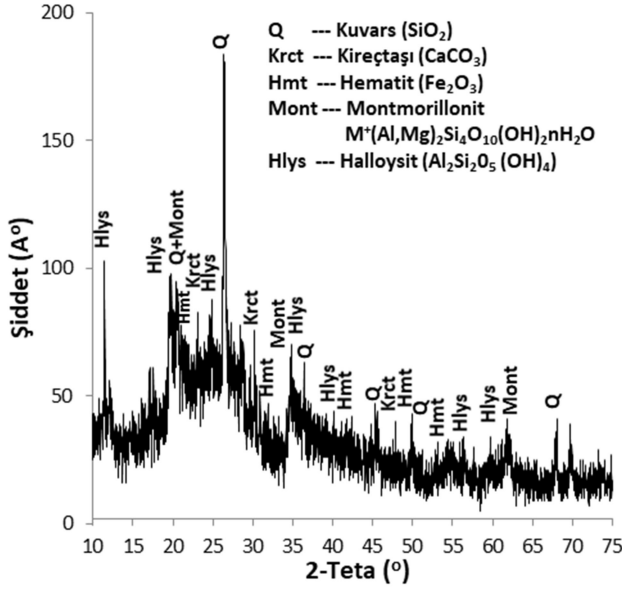
Literatürde leonarditin ön zenginleştirilmesinin hümik asit verimine etkisini ortaya koyan bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada Türkiye-Uşak bölgesinde çıkarılan leonardit cevherinden, Kreulen yöntemiyle humat üretiminde safsızlık olarak bulunan kil minerallerin hidrosiklon ile uzaklaştırıldıktan sonraki potasyum hidroksitli (KOH) ortamda liç verimleri araştırılmıştır. Burada hedef, zaten ekonomik olarak üretimi yapılabilen yatağın daha da ekonomik hale getirilmesine yöneliktir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Materyal

Deneysel çalışmalarda, Uşak ili İlyaslı ilçesinde bir madencilik şirketine ait tesiste hazır öğütülmüş leonardit numunesi kullanılmıştır. Laboratuvarında yapılan yaş elek analizinde, tane boyutunun %80'nin 300 mikrondan daha ince olduğu belirlenmiştir.

Liç işleminde kullanılan leonarditin mineralojik analizi Rigaku RadB-DMAX II XRD cihazıyla belirlenmiştir. Numunenin XRD pikleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekil 1'e göre leonarditle beraber safsızlık olarak montmorillonit (kil minerali), halloysit (kaolinit minerali), kuvars ( $\text{SiO}_2$ ), kireçtaşı ( $\text{CaCO}_3$ ) ve hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) mineralleri bulunmaktadır.



Şekil 1. Alkali liç işlemi ile humat üretimi akım şeması.

Montmorillonit smektit grubu kil minerallerinden olup, bünyesine 10 kata kadar su alarak şişmeleriyle bilinmektedir. Montmorillonit piki olarak belirlenen nontronit minerali ultrabazik kayalarda demirli minerallerin ayrışması sonucu oluşmaktadır. Felsdpatların ayrışma ürünü olan halloysit minerali ise kaolinitin su içeren şeklidir (Kurt ve Arık 2007). XRD pikleri demirli mineral olarak hematiti işaret etmektedir.

Kullanılan leonarditin XRF Spectro X lab 2000 model ile ölçülen kimyasal analiz ve ASTM standartlarına göre gerçekleştirilen kısa analiz

sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Elementel analizler LECO marka CHNC-932, ısı değeri İKA C1 cihazında ölçülmüştür. Çizelge 2'de ham leonardit numunesinin kimyasal analiz sonucundan, %39,87 oranında organik kısım içerdiği belirlenmiştir. Leonarditin kısa analizinde uçucu madde ve sabit karbon toplamının %38,6 olması da bu durumu desteklemektedir. Numunenin kül miktarının %50,72 gibi yüksek bir değer içermesi, leonarditle birlikte bulunan safsızlıkların uzaklaştırılması gerektiğini göstermektedir. Numune içerisinde %6,65  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  bulunması, XRD sonuçlarına göre hematit mineralinden gelmektedir. Aynı şekilde kimyasal analizde yüksek silikat ve alümina bulunması da kil mineralleri olan montmorillonit ve halloysit ile uyum içerisindedir.

Çizelge 2. Leonarditin havada kuru baza göre kısa analiz sonuçları.

İçerik	
Kül (%)	50,72
Nem (%)	8,83
Uçucu madde (%)	13,75
Toplam Kükürt (%)	1,89
Sabit Karbon (%)	24,81
AİD (kcal/kg)	1970
$\text{SiO}_2$ (%)	31,39
$\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	10,48
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	6,65
CaO (%)	0,59
MgO (%)	0,87
$\text{Na}_2\text{O}$ (%)	1,86
$\text{K}_2\text{O}$ (%)	0,80
$\text{SO}_3$ (%)	4,06
$\text{P}_2\text{O}_5$ (%)	0,06
Diğer (%)	3,35
Organik kısım (%)	39,87

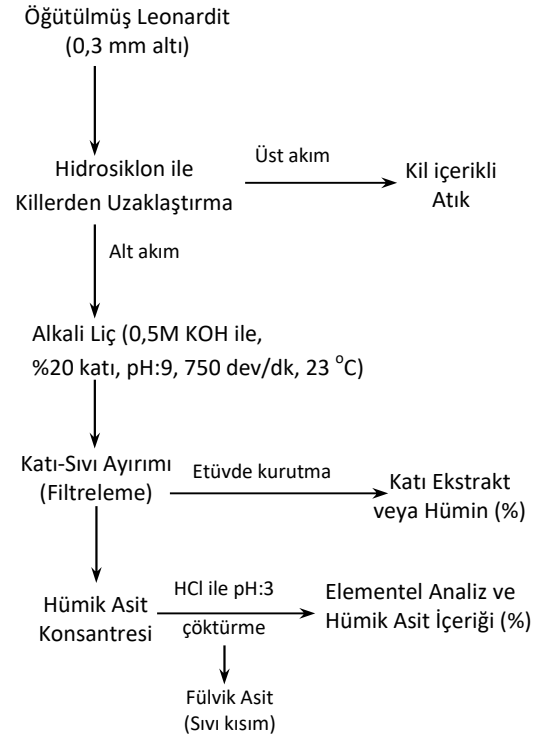
### 2.2 Metot

Ticari hüyük asit üretiminde, ekonomik olmasından dolayı Kreulen ve Macar yöntemleri tercih edilmektedir. Bu çalışmada alkali liç yöntemi olarak Kreulen yöntemi kullanılmıştır. KOH endüstriyel boyutlu humat üretiminde tercih edilen bir alkalidir. Toprağın ihtiyacı olan potasyum bu şekilde karşılanabilmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan KOH Merck marka olup kimyasal safliktadır. Leonarditten hüyük asit üretiminde bundan önceki yapılan çalışmada %20 katı

oranında, 0,5M KOH ile oda sıcaklığında (23°C), 60 dk karıştırma süresi ve 750 dev/dk karıştırma hızında %62,5 içerikli hümik asit alınmasının mümkün olduğu belirlenmiştir (Bentli vd. 2015). Bu yöntemle göre 0,5 lt beher içerisinde %20 katı konsantrasyonunda hazırlanan çözelti-leonardit karışımına, pH:9 olacak şekilde 0,5M KOH çözeltisi yavaş yavaş ilave edilerek, manyetik karıştırıcıyla belirli sıcaklık ve sürelerde liç işlemine tabi tutulmuştur. İşlem sonrasında leonardit-çözelti karışımı ince filtre kâğıdı kullanılarak süzülmesi ve hümik asit içeren süzüntü ayrılmıştır. Süzülen çözeltiye pH:3 olacak şekilde HCl ilave edilerek hümik asitin çökmesi sağlanmıştır. Bu çökelek etüvde kurutmakta, tartılmakta ve elementel analizi yapılmak üzere ayrılmaktadır. Bu ağırlık ilk leonardit miktarına oranlanarak hümik asit verimi (%) hesaplanmaktadır. Süzülen çözeltiye HCl ilave edildikten sonra çökmeden kalan sıvı kısımda fülvik asit bulunmaktadır. Genellikle fülvik asit miktarı en fazla %10 olduğundan analizi yapılmamaktadır. Süzgeç kâğıdı üzerinde kalan katı hümün (eksrakt) ise etüvde düşük sıcaklıkta sabit tartıma gelene kadar kurutulmakta ve tartılmaktadır. Ağırlıkça başlangıçtaki leonardit numunesi miktarına oranlanarak yüzde hümün (ekstrakt) verimi hesaplanmaktadır (Özkan 2007, Özkan ve Özkan 2017, Birinci ve Şentürk 2021). Hümik asit analizinde yukarıda anlatılan gravimetrik yöntem dışında, sert kömürlerde hümik asit analizine dayalı TSE 5896 sayılı titrimetrik ve kolorimetrik olmak üzere üç yöntem bulunmaktadır. Hümik asit tayininde uluslararası düzeyde kabul görmüş standart bir yöntem bulunmadığı, Uluslararası Hümik Maddeler Birliği (IHSS)'nin metodunun ise hassas olmasına karşın zor, pahalı ve uzun zaman alan bir yöntem olduğu bildirilmektedir (Kalinbacak ve Madenoğlu 2012). Lamar ve Talbot (2009), Kalinbacak ve Madenoğlu (2012) hümik asit analiz yöntemleri arasında birbiriyle istatistik olarak uyuşmayan sonuçlar bulmuşlardır. Lamar vd. (2014) bu durumu önlemek amacıyla hümik ve fülvik asit analizi için standart bir yöntem önermektedir. Literatürde endüstriyel kullanımı için sadece hümik asit veriminin önemli olmadığı, aynı zamanda kromatografik ve spektroskopik yöntemlerle hümik asit karakterizasyonun da

yapılmasının gerekli olduğu açıklanmaktadır (Ricca vd. 1993, Olivella vd. 2002, Allard ve Derenne 2007, Ağaçayak 2019, Sarlaki vd. 2020).

Bu çalışmada, leonardit içerisinde safsızlık olarak bulunan montmorillonit ve kaolinit içerikli kil minerallerinin hidrosiklon ile uzaklaştırılması ile humat ve hümün (eksrakt) verimlerinin artırılması amaçlanmıştır. Böylece daha az alkali kullanımı, hümik asit içeriğinde artış ve değerli liç çözeltisinin süzülmesinde zorlukların aşılması hedeflenmektedir. Hümik asit tesislerinde en önemli sorun, alkali liç işleminden sonra çözeltinin jel oluşturması ve çökeltinin çok ince boyutta olması nedeniyle filtreyi tıkayarak katı-sıvı ayırımı zorluklar yaşatmasıdır. Tasarlanan bu yöntemle liç öncesi filtreleri tıkayan kil minerallerinin uzaklaştırılması sayesinde tesiste yaşanan sorunlara çözüm getirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada takip edilen yol Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Alkali liç işlemi ile humat üretimi akım şeması.

### 3. Bulgular

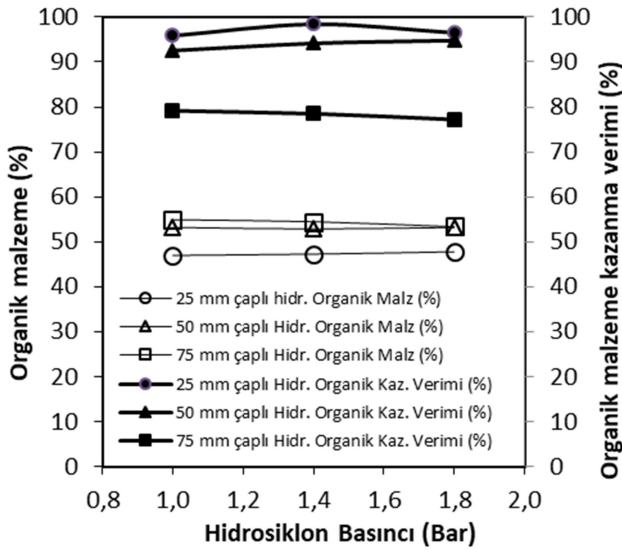
#### 3.1 Hidrosiklon zenginleştirilmesi

Leonardit içerisinde safsızlık olarak bulunan montmorillonit tipi kil minerallerinin hidrosiklon ile uzaklaştırılması amacıyla AKW tipi pilot ölçekli

hidrosiklon ünitesi kullanılmıştır. %30 katı oranı sabit tutularak 25 mm, 50 mm ve 75 mm çapında hidrosiklon ile farklı basınçlarda elde edilen organik malzeme kazanımının değişimi Şekil 3'de gösterilmiştir. Hesaplama organik malzeme oranı, ürünlerdeki kül içeriklerinin çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Organik malzeme kazanma verimi (%) ise aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\%V_o = \frac{K*(100-Kül_K)}{B*(100-ül_B)} * 100 \quad (1)$$

- K : Hidrosiklon alt akım miktarı (%)  
 Kül<sub>K</sub> : Hidrosiklon alt akımının külü (%)  
 B : Besleme miktarı (%)  
 Kül<sub>B</sub> : Beslemenin külü (%)  
 V : Organik malzeme kazanma verimi (%)  
 100-Kül : Organik malzeme (%)



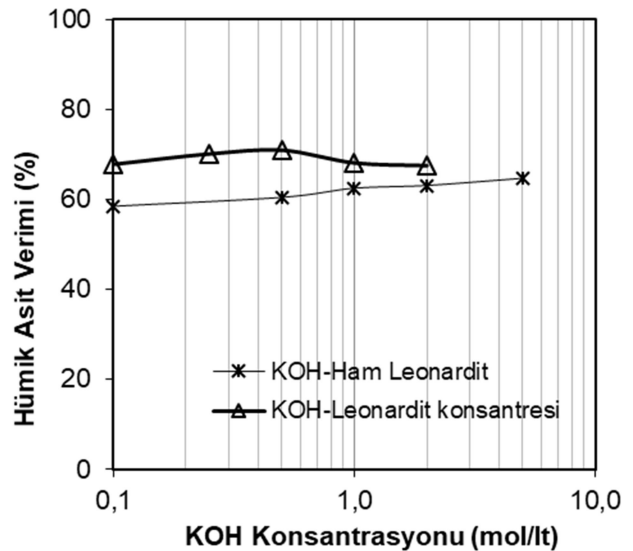
Şekil 3. Farklı hidrosiklon çap ve basınçlarından elde edilen organik kısım kazanımı değişimi.

Şekil 3'e göre en yüksek organik malzeme oranı 75 mm çaplı hidrosiklon ile elde edilirken, organik kısım kazanma verimi nispeten düşük kalmıştır. Siklon basıncı ve kapasitesini göz önünde bulundurarak, optimum 50 mm çaplı siklon ve 1,4 Bar basıncında organik malzeme ve kazanımı elde edildiği anlaşılmaktadır. Bu çalışma koşulunda %53 organik kısım %94,2 oranında kazanılmaktadır. Hidrosiklon ile kilinden uzaklaştırılan bu ön leonardit konsantresi, KOH ile aynı şartlarda alkali liç işlemine tabi tutulmuştur. Hidrosiklon dışında kil

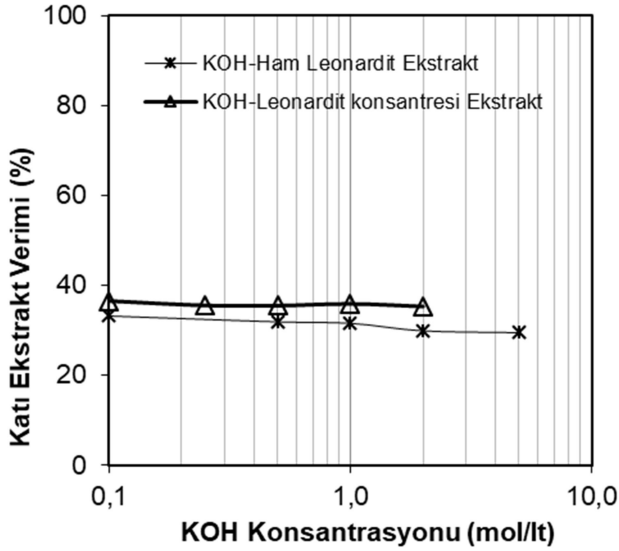
uzaklaştırmanın mekanik karıştırma+sınıflandırma (Kalaycı vd. 2021) ve özellikle flotasyon (Firth ve Nicol 1981) yöntemleriyle karşılaştırılmasında faydalar görülmektedir.

### 3.2 Alkali liç işlemi

Ham leonardit ve hidrosiklon yapıldıktan sonra elde edilen leonardit konsantresinin daha önce belirtilen sabit şartlarda, KOH derişimine bağlı olarak %Hümik asit kazanım değişimi Şekil 4'de gösterilmektedir. Şekil 4'de görüldüğü gibi hidrosiklonla kil safsızlıklarının uzaklaştırılmasının hümik asit kazanımı üzerine, tüm konsantrasyonlarda %5-11,5 arasında iyileştirme sağladığı belirlenmiştir. Hümik asit veriminde iyileştirmenin nispeten sınırlı kalmasına rağmen, tesiste sağlayacağı faydaların iyi etüt edilmesi gerektiği açıktır. Şekil 5'de kil minerallerinin uzaklaştırılmasının ekstrakt verimini arttırdığı, diğer bir deyişle filtrelemeyi kolaylaştıracağı anlaşılmaktadır. Ayrıca KOH ile hümik asit üretiminde literatürde açıklanan kaotik karıştırma sistemlerinin denenmesinde ve diğer kil uzaklaştırma yöntemleriyle karşılaştırmanın yollarının aranmasında faydalar görülmektedir.

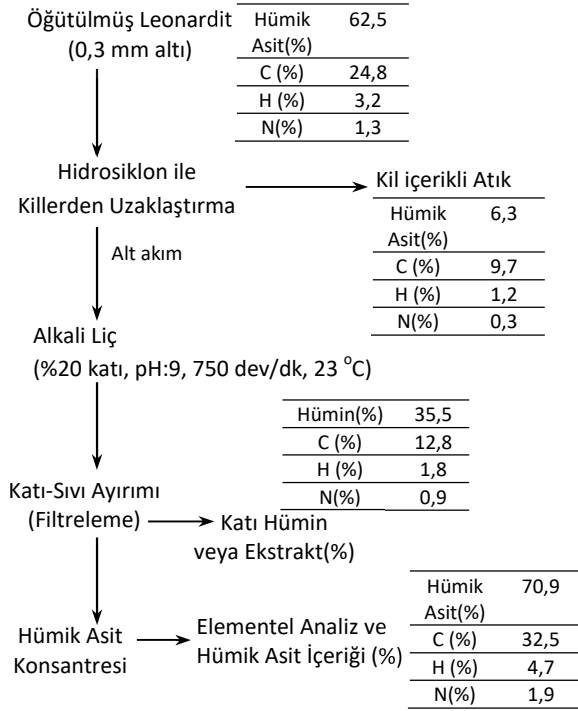


Şekil 4. Ham leonardit ve hidrosiklon konsantresiyle KOH derişimine bağlı olarak hümik asit kazanımı.



Şekil 5. Ham leonardit ve hidrosiklon konsantresiyle KOH derişimine bağlı olarak ekstrakt verimi değişimi.

Organik gübre elde etmek amacıyla gerçekleştirilen çalışmaların sonuçları, Şekil 6'da akım şeması üzerinde verilmektedir.



Şekil 6. Alkali liç işlemi ile humat üretimi akım şeması.

Şekil 6'dan anlaşılacağı üzere, alkali liç yapılan ham leonardit numunesinden %62,5 hümik asit ve bunun elementel analizinden %24,8 C, %1,3 N ve hesapla C/N= 19,1 elde edilmiştir. Bu durumda Çizelge 1'e göre orta kaliteli (%50-65 hümik asit ve  $18 < C/N < 20$ ) bir organik sıvı üretilmiştir. Hidrosiklon

ile kili uzaklaştırılan leonardit konsantresinin alkali liç işlemiyle %70,9 hümik asit, %32,5 C, %1,9 N'a yükseltilmiş ve C/N=17,1 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca göre hidrosiklon ile ön zenginleştirilen leonardit konsantresinden yüksek kaliteli (%65-85 hümik asit ve  $16 < C/N < 18$ ) organik sıvı üretilmiştir. Hümik asit içeriğinde C/N oranının 20,6'dan 17,1'e düşmesi ve hümik asit içeriğinin %62,5'den %70,9'a yükselmesi önemli bir bulgudur. Bu değerlendirmelerin sadece hümik asit içeriğine göre yapıldığı, az miktarda (maksimum %10) da olsa fülvik asit içeriğinin de ilave edilerek yorumlanması gerektiği unutulmamalıdır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Ticari olarak organik gübre üretilen leonardit hammaddesinin daha ekonomik ve kaliteli hale getirilmesi amacıyla bir dizi araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Karakterizasyon çalışmaları sonucunda leonarditle beraber kil mineralleri olarak montmorillonit ve kaolinit minerallerinin bulunduğu ve üretiminde süzme sırasında sorunların bundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Kil minerallerinin hidrosiklon ile uzaklaştırılmasından sonra, KOH ile hümik asit kazanımında tüm konsantrasyonlarda %5 ile %11,5 arasında artışlar tespit edilmiştir. Ayrıca kilin uzaklaştırılmasıyla süzme sırasında filtrelerin tıkanması da önlenmiş olacaktır. Hümik asit içeriğinde toprağa faydalı olan azot oranındaki artış önemlidir. Hidrosiklon dışında diğer kil uzaklaştırma yöntemlerinin, hümik asit ve ekstrakt verimini arttırıcı araştırmaların ve hümik asit kalitesini belirleyen analizlerin yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

#### 5. Kaynaklar

- Ağaçayak, Y., 2019. Hümik maddelerin leonarditlerden ekstraksiyonu ve hümik asit içeriklerinin infrared spektroskopisi ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 60.
- Allard, B. ve Derenne, S., 2007. Oxidation of humic acids from an agricultural soil and a lignite deposit: analysis of lipophilic and hydrophilic products, *Organic Geochemistry*, **38**, 12, 2036-2057.

- Ay, F., 2015. Hümik asit ve hümik asit kaynaklarının jeolojik ve ekonomik önemi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, **36**, 1, 28-51.
- Aylen, P.B., Simandl, G.J. ve Simandl, J., 2000. Leonardite at Red Lake Deposit, British Columbia, Industrial Minerals with emphasis on Western North America, Canada, 239-242.
- Bentli, İ., Demir U., Karağağaçlıoğlu, İ.E. ve Çelik, M.S., 2015. Tarımsal verimi arttırmada leonarditten alkali liç yöntemiyle hümik asit üretimi, *9.Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, Eds: Cöcen, Seyrankaya, Tufan, İzmir, 363-369.
- Birinci M. ve Şentürk K., 2021. Arguvan (Malatya) linyitinden hümik asit ekstraksiyonu ve kömür yıkamanın Etkisi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **11**, 3, 2133-2141.
- Demir, U. ve Bentli, İ., 2011. Tarımsal verimi arttırmada önemli bir hammadde; Leonardit, 4. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Eds: Onur, Konak, Tanrıverdi, Karakuş, Özdoğan, İzmir, 323-331.
- Demirbaş, A., 2002. Humic acid derivatives (HAD) from low rank Turkish brown coals, *Energy Sources*, **24**, 2, 127-133.
- Demirbaş, A., 2003. Characterization of humic substances from lignite samples, *Energy Sources*, **25**, 1, 23-32.
- Engin, V.T. ve Cöcen, E.İ., 2012. Leonardit ve hümik maddeler, *MT Bilimsel Yer altı Kaynakları Dergisi*, **1**, 2, 13-20.
- Fırat, C., Bentli, İ. ve Korkmaz, A.A., 2018. Production of Organic Fertilizer from Humic Deposit (Gyttja) by Alkaline Leaching, *16th International Mineral Processing Symposium, IMP2018*, Eds: Arol, Atalay, Altun, Antalya, 274-278.
- Firth, B.A. ve Nicol, S.K., 1981. The influence of humic materials on the flotation of Coal, *International Journal of Mineral Processing*, **8**, 239-248.
- Francioso O., Ciavatta C., Montecchio D., Tugnoli V., Sanchez-Cortes S. ve Gessa C., 2003. Quantitative estimation of peat, brown coal and lignite humic acids sing chemical parameters, <sup>1</sup>H-NMR and DTA analyses. *Bioresource Technology*, **88**, 3, 189-195.
- Giannouli, A., Kalaitzidis, S., Siavalas, G., Chatziapostolou, A., Christanis, K., Papazisimou, S., Papanicolaou, C. ve Foscolos, A., 2009. Evaluation of greek low-rank coals as potential raw material for the production of soil amendments and organic fertilizers, *International Journal of Coal Geology*, **77**, 3-4, 383-393.
- Kalaycı, O., Pehlivan İ. ve Çoşkun, S., 2021. Humik asit üretiminde kullanılan karıştırıcıların kaotik sistemler ile performanslarının iyileştirilmesi, *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, **9**, 3, 508-514.
- Kalınbacak, K. ve Madenoğlu, S., 2012. Organik materyallerde bazı humik asit analiz yöntemlerinin karşılaştırılması ve uygun yöntemlerin seçimi, *Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Dergisi*, **14**, 1, 499-508.
- Karaca, A., Turgay O.C. ve Tamer N., 2006. Effect of humic deposit (gyttja) on soil chemical and microbiological properties and heavy metal availability, *Biology Fertility Soils*, **42**, 6, 585-592.
- Kemal, A. ve Arslan, V., 2010. Kömür Teknolojisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:033, İzmir, 1-214.
- Kolay, B., Gürsoy, S., Avşar, Ö., Bayram, N., Öztürkmen, A.R., Aydemir, S. ve Aktaş, H., 2016. Buğday bitkisine uygulanan farklı miktarlarda leonarditin bazı toprak özelliklerine etkisi, *Toprak Su Dergisi*, **5**, 2, 32-36.
- Kural, O., 1991. Kömür, Bölüm:27 Diğer önemli karbonlu maddelerin tanıtımı, Ed: Orhan Kural İstanbul, 842-872.
- Kurt, H. ve Arık, F., 2007. Mineraloji. Nobel Yayın No:1190, Ankara, 155-157.
- Lamar, R.T. ve Talbot, K.H., 2009. Critical comparison of humic acid test methods, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **40**, 15-16, 2309-2322
- Lamar, R.T., Olk, D.C., Mayhew, L. ve Bloom, P.R., 2014. New Standardized Method for Quantification of Humic and Fulvic Acids in Humic Ores and Commercial Products, *Journal of AOAC International*, **97**, 3, 721-730.
- Lobartini, J.C., Tan, K.H., Rema, J.A., Gingle, A.R., Pape, C. ve Himmelsbach, D.S., 1992. The geochemical nature and agricultural importance of commercial humic matter, *Science of the Total Environment*, **113**, 1-2, 1-15.
- Namlı, A., Akça, M.O. ve Akça, H., 2017. EÜAŞ Afşin-Elbistan havzası Kışlaköy linyit işletmesinde bulunan organik materyallerin tarımda kullanım olanaklarının belirlenmesi, *Toprak Su Dergisi*, Özel sayı, 46-54.
- Namlı, A., Akça, M.O. ve Akça, H., 2019. Afşin-Elbistan havzası linyit işletmesi organik materyallerinden geliştirilen organik ve organomineral gübrelerin buğday verimi ve verim bileşenleri ile bazı toprak özellikleri üzerine etkileri, *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, **7**, 1, 10-20.
- Olivella, M.A., del Rio J.C., Palacios J., Vairavamurthy M.A. ve de las Heras F.X.C., 2002. Characterization of humic acid from leonardite coal: an integrated study of PY-GC-MS, XPS and XANES techniques, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **63**, 1, 59-68.
- Özkan, S. ve Özkan Ş.G., 2017. Investigation of humate extraction from lignites, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, **37**, 6, 285-292.
- Özkan, S., 2007. Türk linyitlerinden hümik asit ve gübre üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 88 s.
- Pehlivan, E. ve Arslan, G., 2006. Comparison of adsorption capacity of young brown coals and humic acids prepared from different coal mines in Anatolia, *Journal of Hazardous Materials*, **B138**, 401-408.
- Piccolo, A. ve Mbagwu, J.S.C., 1989. Effects of humic substances and surfactants on the stability of soil aggregates, *Soil Science*, **147**, 1, 47-54.
- Piccolo, A., Pietramellara, G. ve Mbagwu, J.S.C., 1997. Reduction in soil loss from erosion-susceptible soils

- amended with humic substances from oxidized coal, *Soil Technology*, **10**, 3, 235-245.
- Ricca, G., Federico, L., Astori, C. ve Gallo, R., 1993. Structural investigations of humic acid from leonardite by spectroscopic methods and thermal analysis, *Geoderma*, **57**, 3, 263-274.
- Sarlaki, E., Paghaleh, A.S., Kianmehr, M.H. ve Vakilian, K.A., 2020. Chemical, spectral and morphological characterization of humic acids extracted and membrane purified from lignite, *Chemistry&Chemical Technology*, **14**, 3, 353–361.
- Turgay O. C., Karaca, A., Unver, S. ve Tamer N., 2011. Effects of coal- derived humic substance on some soil properties and bread wheat yield, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **42**, 9, 1050-1070.
- Yıldırım, M. ve Özbayoğlu G., 1997. Production of ammonium nitrohumate from Elbistan lignite and its use as a coal binder, *Fuel*, **76**, 5, 385-389.
- Yıldırım, M., 2001. Elbistan linyitinin havada değişik sıcaklıklarda oksitlenmesi, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, **25**, 219-224.
- Young R.W. ve Frost C.M., 1963. Humic acid from leonardite, a soil conditioner and organic fertilizer, American Chemical Society, *Division of Fuel Chemistry*, **7**, 12-17.
- Zara, M., Ahmad, Z., Akhtar, J., Shahzad, K., Sheikh, N. ve Munir, S., 2017. Extraction and characterization of humic acid from Pakistani lignite coals, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, **39**, 11, 1159-1166.

## Mermer Türlerinin Makine Öğrenmesi Teknikleri Kullanılarak Sınıflandırılması

Murat YAVUZ<sup>\*1</sup>, İbrahim Türkoğlu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Firat University, Institute of Science, Department of Software Engineering, Elazığ

<sup>2</sup> Firat University, Faculty of Technology, Department of Software Engineering, Elazığ

Sorumlu yazar <sup>\*1</sup> e-mail: 201137201@firat.edu.tr , <https://orcid.org/0000-0002-9896-9383>  
<sup>2</sup> e-mail: iturkoglu@firat.edu.tr , <https://orcid.org/0000-0003-4938-4167>

The arrival date: 23.03.2023 ; Date of Acceptance: 25.04.2023

### Öz

Doğal taşlar, insanların barınmadan silaha kadar vazgeçilmez unsurlarından bir tanesidir. Bu taş türleri içerisinde mermerler ve mermer türevli ürünler banyodan mutfığa, bahçe tasarımından küçük dekoratif ev süslerine kadar insanların sürekli tercih ettiği objelerdendir. Mermerler çıkarıldıkları bölgelere göre isimlendirilirken bu alanda uzman olarak nitelendirilen kişiler tarafından gözleme dayalı olarak türleri ve kaliteleri sınıflandırılmaktadır. Uzman kişilerin gözleme dayalı yaptığı bu sınıflandırma ekonomik anlamda risk taşımakta, iş yükünü arttırmakta ve hata oranı yüksek olabilen zorlu bir süreçtir. Bu süreçlerin hızlı, kolay ve doğruluk oranı yüksek bir dijital dönüşüme ihtiyacı bulunmaktadır. Bu çalışmada mermerlerin tür sınıflandırmasında derin öğrenme kullanılarak özellik çıkarımı yapılmıştır. Çıkarılan özellikler makine öğrenme teknikleri kullanılarak sınıflandırma uygulaması gerçekleştirilmiştir. 28 ayrı türe ait 3703 mermer ve mermer türevli doğal taş imgesinden oluşan veri seti ile yapılan uygulamanın test sonucunda DenseNet derin öğrenme modeli ve K-En Yakın Komşu metodu ile %99,7'lik sınıflandırma başarımı elde edilmiştir.

### Anahtar kelimeler

Mermer; Derin Öğrenme; Makine Öğrenmesi; Görüntü İşleme

## Classification of Marble Types Using Machine Learning Techniques

### Abstract

Natural stones are one of the indispensable elements of people from shelter to weapons. Among these stone types, marbles and marble-derived products are among the objects that people always prefer, from bathroom to kitchen, from garden design to small decorative home decorations. While the marbles are named according to the regions where they are extracted, their types and qualities are classified based on observation by people who are qualified as experts in this field. This classification, which is made by experts based on observation, carries risks in economic terms, increases the workload and is a difficult process with a high error rate. These processes need a fast, easy and highly accurate digital transformation. In this study, feature extraction was done by using deep learning in the species classification of marbles. The extracted features were classified using machine learning techniques. As a result of the application made with the data set consisting of 3703 marble and marble-derived natural stone images belonging to 28 different species, a classification success of 99.7% was obtained with the DenseNet deep learning model and the K-Nearest Neighbor method.

### Keywords

Marble; Deep Learning; Machine Learning; Image Processing



## 1. Introduction

Throughout their lives, people use products that they either produce themselves or that they obtain from the resources that nature offers them. While people sometimes use nature-based products to meet their individual needs, they sometimes prefer them in the design of the environments they live in. Due to its aesthetic structure and durability, natural stones are frequently preferred by people in environments where they live, such as the environment, home or work area. This frequency of use also brings about an increase in natural stone production. Technology plays an important role in the manufacturing sector. With Society 5.0, it is expected that artificial intelligence will take place more in our lives. These breakthroughs in technology also bring advantages in the production sector. The reason for this is that Industry 5.0 requires the design of the product according to the needs of the person. As a result, a personalized product will be prepared and this product will be both high quality and optionally produced at low cost (Doyle-Kent and Kopacek 2020).

Apart from technology, people also use the resources offered by nature to beautify their living spaces and the environments they live in. The most valuable parts of this beautification are made of natural stones due to its durability and aesthetics.

Marble and marble types (Granite, Travertine, Onyx, etc.) come first in terms of use of natural stones. Marble is a type of natural stone that is widely used in decoration, monuments and sculptures, ornaments and souvenirs, especially in the construction industry.

Türkiye has approximately 40% of the world's natural stone reserves. According to the researches, there are approximately 650 types of marble in color and texture in our country (IntRes. 1).

Marble production in Türkiye started 4000 years ago on the Marmara Island. Currently, Turkey exports 2 billion dollars worth of marble and natural stone to 179 countries (IntRes. 2).

Most of Türkiye's marble reserves are located in Western Anatolia and Thrace. Afyon, Çanakkale, Muğla, Tokat, Denizli, Bilecik, Eskişehir, Bursa, Balıkesir and Burdur provinces are at the top of the collective reserve provinces in our country. In addition to these provinces, there are marbles unique to our country such as Elâzığ Cherry, Akşehir Black, Milas Lilac and Süpren in the international market.

Marbles are classified according to their types or quality. There are many studies on marble classification in the literature.

In the industrial application of Martínez et al., a data set with 3 classes and 30 samples was classified. K-means clustering algorithm was used in classification, and textural features such as mean variance, contrast, entropy were included in the classification process. 98.9% texture accuracy has been achieved (Martínez-Alajarín et al. 2005).

In the study of Selver et al., classification from the surface images of 1158 marble slabs was studied using Hierarchical Neural Networks. 99% success was achieved in the study, which revealed that the Hierarchical Radial Based Function Network (HRBFN) for industrial applications produced successful results (Selver et al. 2009).

In the adaptive marble slab classification study of Topalova and Tzokev, the classification of marble slabs with similar textures was made. It was stated that the data given turbidity and different lighting produced an accurate result between 87% and 96% with 100 samples with 6 classes as a result of the test (Topalova and Tzokev 2011).

Torun et al (2019) performed a classification using AlexNet and Local Binary Patterns (LBP) methods in their study. At the end of the classification performed by taking 600 marble images belonging to 3 different classes from a company producing marble in Sivas province, a classification success of 99.8% with LBP+DVM and 99.2% with AlexNet was achieved.

In their studies, Pençe and Çeşmeli used Convolutional Neural Networks to classify marble slabs using 80 different marble images and various

architectures and algorithms. A 75% success rate was achieved in the study without any data augmentation (Pençe and Çeşmeli 2019).

In the study of Canayaz and Uludağ, who used images of 28 different types of marble, marble classification was realized with deep neural networks. The system tested with VGG16, ResNet and LeNet models showed a 97% success rate with the VGG16 model (Canayaz and Uludağ 2020).

The work done by Karaali and Eminağaoğlu for quality classification was carried out using convolutional neural networks. A data of 2100 samples obtained from a marble company serving in the province of Izmir was used. As a result of various algorithms, the system achieved a success rate of 71.5% in the test data. By augmentation the data, this rate was obtained as 92% (Karaali and Eminağaoğlu 2020).

Elmas (2022) carried out a study on the classification of marble and granite varieties with

transfer learning. He prepared a data set consisting of 21120 marble and 3360 granite images in total by taking 240 images from 16 different plates for each type of 88 marble and 14 granite types. With data augmentation, 171360 images were obtained. Data was trained with 7 pre-trained convolutional neural networks. With the ResNet-50 model, it achieved a success rate of 97.4%.

In this study, marble type classification was carried out using deep learning architectures in the MATLAB (2020a version) environment. The data set consists of 3703 marble images belonging to 28 types of marble classes. In the application, feature extraction was done with 8 deep learning models. 24 different methods were tried to classify each model. The cross validation value was chosen as 10. With the study, a 99.7% success rate was obtained with the DenseNet201 model and Weighted KNN classification method.

**Table 1.** Literature review summary table

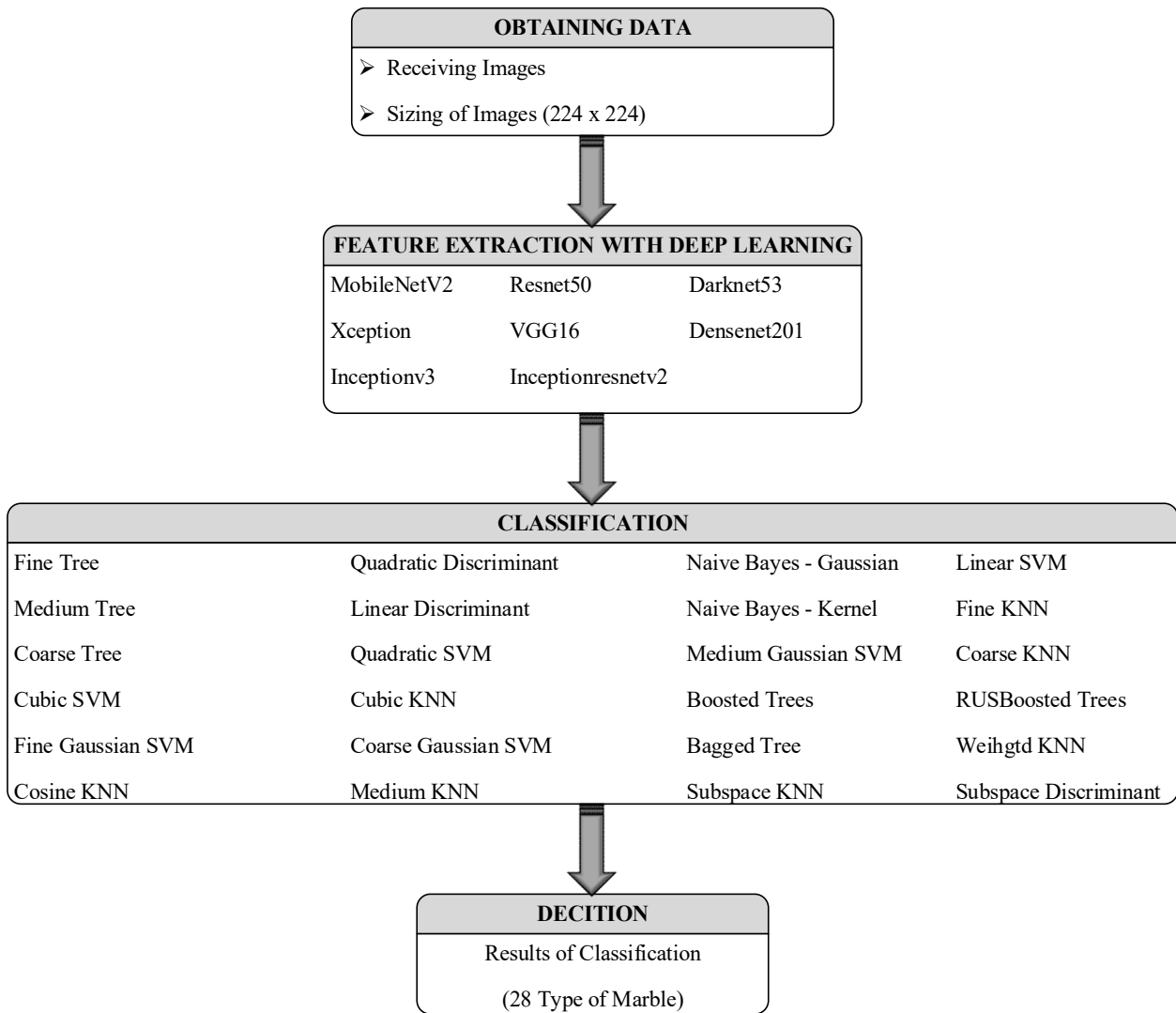
Author	Number of Sample	Method	Success Rate
Martinez-Alarjin et al.	30	K-Means Clustering	98,9%
Selver et al.	1158	Hierarchical Radial Basis Function Network	99%
Topalova and Tzokev	100	MultiLayer Perceptron	Between 87% - 96%
Torun et al.	600	AlexNet and Local Binary Patterns	99.8%
Pençe and Çeşmeli	80	Convolutional Neural Networks	75%
Canayaz and Uludağ	3073	VGG16	97%
Karaali and Eminağaoğlu	2100	Convolutional Neural Networks	92%
Elmas	171360	ResNet-50	97.4%

In the first part of the publication, various studies on marble and marble classification were examined. In the second part of the study, information about the data set used, feature extraction and classification methods are mentioned. In the third part, the results of the application are presented with the support of

figures and tables. Finally, in the Conclusion section, an explanation was given about the contribution of the study.

## 2. Material and Method

The process steps and components of the application method are given in Figure 1.



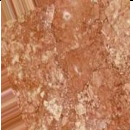
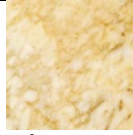
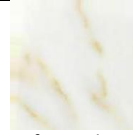
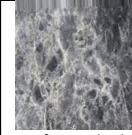

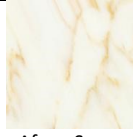
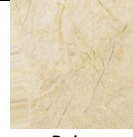
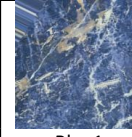
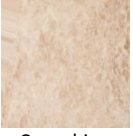
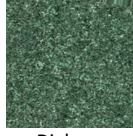
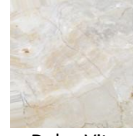
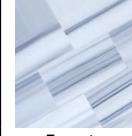
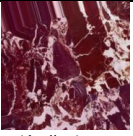

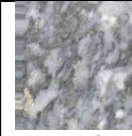



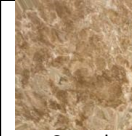



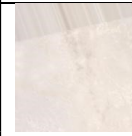
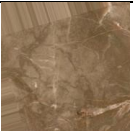



**Figure 1.** Components of the Application Method

The applied method consists of a 4-stage process. In the first step of the process, marble images are taken and resized to 224x224 pixels. In the second stage, separate features of the images are extracted for 8 Deep Learning models and stored in separate matrix files. The names of the models used are given in Table 2 as column names. In the third stage, the extracted features are classified with the machine learning module of MATLAB. In classification, 24 different Classification Learner tools of MATLAB were used. The names of the vehicles used are given in the Classification Type column in Table 2. The cross-validation value was kept constant at 10 in the classification. In the fourth and final stage, classification is finalized according to 28 marble types.

The CPU of the computer used is Intel Core i7 – 8750H series and has a processor speed of 2.20 GHz. The computer has 16GB of RAM and a 4GB memory display adapter with NVIDIA GTX 1050Ti chipset.

### 2.1. Data Set

A total of 3703 marble images from 28 species using OpenCV-sourced Convolutional Neural Network were used as the dataset of the study (Canayaz and Uludağ 2020). The marble sample images of 28 species that make up the data set and the number of samples used for that species are given in Figure 2.

 Aagean Rose (85 Sample)	 Afyon Honey (88 Sample)	 Afyon White (271 Sample)	 Afyon Black (108 Sample)
 Afyon Grey1 (195 Sample)	 Afyon Sugar (152 Sample)	 Beige (203 Sample)	 Blue1 (119 Sample)
 Capuchino (148 Sample)	 Diabase (141 Sample)	 Dolce Vita (86 Sample)	 Equator Pyjamas (82 Sample)
 Elâzığ Cherry (128 Sample)	 Gold Galaxy (75 Sample)	 Dried rose (76 Sample)	 Tiger Skin (281 Sample)
 Karacabey Black (159 Sample)	 Kemalpaşa White (130 Sample)	 Konglomera (64 Sample)	 Crystal Emprador (181 Sample)
 Lilac (117 Sample)	 Limbra (54 Sample)	 Medi Black (105 Sample)	 Milas Pearl (137 Sample)
 Olivia Marble (75 Sample)	 Oniks (117 Sample)	 Rain Grey (86 Sample)	 Traverten (149 Sample)

**Figure 2.** Sample images and sample numbers of each species in the data set used

## 2.2. Feature extraction methods

Deep learning models are used for feature extraction. Different performance results were obtained for each model and each algorithm. Today, applications that behave like humans or try to think like humans are increasing. Essentially, these applications mean that there is a human phenomenon in engineering applications. This is

known as machine learning (Goldberg and Holland 1988)

Machine learning applications have been developed by utilizing the working logic of neurons in the human brain. An artificial neuron model has emerged. This model was developed over time and started to be used frequently in machine learning studies. Machine learning has started to be used in many fields such as medical and security (Hinton and Salakhutdinov 2006).

Deep learning is a type of artificial neural networks. It has also had success in areas such as natural language processing or sound (Masters and Luschi 2018). Since the preprocessing and feature extraction processes are automatic in deep learning, multiple processes are performed and finalized at the same time. In the deep convolutional neural network, feature extraction is determined within the network and the features belonging to the structure to be detected are determined within the layers (Doğan and Türkoğlu 2019).

The MobileNet model has been developed for use in embedded systems and mobile applications, image processing and classification studies. It has higher efficiency because it uses decomposable convolutions. A fast and small network is formed by decomposition. This network can be implemented on mobile devices. With the development of the model, accurate results were obtained in applications such as object recognition, facial features, geolocation (Howard et al. 2017).

The VGG model was developed by the Visual Geometry Group formed by Simonyan and Zisserman from Oxford University in 2014. VGG showed a successful performance with an error rate of 7.3% in the ILSVRC (The Imagenet Large Scale Visual Recognition Challenge) competition held by ImageNet in 2014. There are 6 different architectural models. These models consist of 11, 13, 16 and 19 convolution layers (Simonyan and Zisserman 2015).

ResNet architecture, which achieved an error rate of 3.6% in the ILSVRC competition held by ImageNet in 2015, consists of 152 layers. This

architecture, unlike other architectures, is formed by including the blocks that feed the residual values to the next layers into the model (Kızrak and Bolat 2018).

Inception, which is defined as a network within a network; it is an architecture based on performing simultaneous filtering and pooling operations in the convolutional layer. Operations are carried out in modules. In the InceptionV3 model, additional modules are used as batch normalization in the network and as an auxiliary classifier in the fully connected layer (Szegedy et al. 2016).

The Xception network, which is basically an evolving network by building on the InceptionV3 network, has been successful with differences in the convolution layer. This model offers two different approaches in the convolution layer as smart depth convolution and smart point convolution. In the smart depth approach, it processes only one channel, not every channel, and reaches the result. This approach causes loss of features and largely unsuccessful results. Smart dot convolution obtains the result by applying a classical convolution in the form of  $1 \times 1 \times \text{Channel Number}$  to the image obtained as a result of the single channel processing (Chollet 2017).

DenseNet, another pre-trained network, is similar to ResNet. The difference from ResNet is that the value added to a system in 2 layers is added to all subsequent layers in order to train the network more easily. Thus, the dysfunction problem of many layers in high-layer networks is also optimized (Huang et al. 2017).

### **2.3. Classification Methods**

Machine learning algorithms were used for classification in the study. Machine learning algorithms are structures that learn the structure and function of the data and make predictions about the data set. They work as structures that take input data and make a database-based prediction and decide (Kononenko 2001).

In this study, Support Vector Machine, Separation Analysis, K Nearest Neighbor Classification,

Decision Trees, Naive Bayes Classifier and Ensemble Learning classifier were used.

Decision trees consist of a node representing the properties and branches representing the value that this node can take (Gültepe 2019). It is a machine learning algorithm that divides the independent variables existing in the data into nodes according to the information gain during the prediction and specifies the average in the interval learned during the training during the prediction (Duda et al 2001).

Classification is discriminant analysis, which aims to divide the independent variables of the data into homogeneous groups. It processes each data by calculating the probability of belonging to that group for each group and assigning it to the highest scoring group (Sayılğan et al. 2021).

Naive Bayes classifier is a simple probabilistic classification method based on Bayes theorem. It uses existing classified data and calculates the probability of the new data falling into which class. Features are evaluated separately from each other. In this classification, the value of one attribute does not have information about the value of another attribute. (Karakoyun and Hacıbeyoğlu 2014).

Support Vector Machines are used to optimally separate data belonging to two or more classes using hyperplanes (Lotte et al. 2018). It performs the classification through a linear or non-linear function. SVM's are based on estimating the best fit function while separating the data (Özkan 2013).

K Nearest Neighbor (KNN) makes an estimation by utilizing sample data for which class it belongs to beforehand for classification. The distance of the newly added element to the other elements in the data set is calculated. Distance functions such as Euclidean, Manhattan are used in this calculation. After these operations, k neighbors are checked. The element is included in the class of the nearest neighbor (with the lowest distance) (Sayılğan et al. 2021).

Ensemble Learning is formed when more than one weak learning algorithm combines to form a

stronger learning algorithm (Freund and Schapire 1999).

### 3. Results and Discussion

The application is prepared in MATLAB environment. Deep learning models such as

MobileNet, ResNet, DarkNet, Xception, VGG16, DenseNet, Inception and InceptionResNet were used for feature extraction. Input images were taken at a resolution of 224 x 224 pixels.

The results obtained in the classification study are given in Table 2.

**Table 2.** The results of applying the model on 3703 images

S. Num	Sınıflandırma Türü	MobileNetV2	Resnet50	Darknet53	Xception	VGG16	Densenet201	Inceptionv3	Inceptionresnetv2
1	Fine Tree	55,9	75	70,3	52,1	60,6	76,4	56,5	59,9
2	Medium Tree	35,9	52,8	44,3	38,5	38,7	54,3	36,1	42,4
3	Coarse Tree	19,5	25,5	25,2	22	21	28,3	19,4	23,6
4	Linear Discriminant	90	93,5	93,7	89,6	89	94,9	90,9	91,6
5	Quadratic Discriminant	F	F	F	F	F	F	F	F
6	Naive Bayes - Gaussian	F	F	93,1	83,1	F	93,8	89,1	86,4
7	Naive Bayes - Kernel	80,8	87,8	93,7	70,3	81,1	95,5	89,3	86,3
8	Linear SVM	94,5	97,3	97,8	93,5	94,4	98,3	95,7	94,8
9	Quadratic SVM	97,2	98,9	98,9	96	97	99,4	97,6	97
10	Cubic SVM	97,4	98,9	98,9	96,6	97,2	99,4	97,7	97,2
11	Fine Gaussian SVM	10,2	14,1	12,2	10,1	11,3	14,2	9,9	11,7
12	Medium Gaussian SVM	96,3	97,9	98,1	93,9	95,5	99,2	97	96
13	Coarse Gaussian SVM	88,8	92,6	93,7	84,7	88,8	95,2	90,6	89,5
14	Fine KNN	98,2	99,3	99	97,1	97,6	99,6	99,2	97,5
15	Medium KNN	96,3	98,3	98,1	94,3	95,5	99,6	98	95,5
16	Coarse KNN	78,2	82,7	84,3	77,5	77,8	86,7	79,5	78,3
17	Cosine KNN	96,5	98,5	98,2	94	95	99,4	97,8	95,2
18	Cubic KNN	96,1	98,3	97,9	93,3	95,2	99,4	97,8	94,9
19	Weihgtd KNN	97,6	99,1	98,5	96,2	96,7	<b>99,7</b>	98,4	96,7
20	Boosted Trees	55,4	70,5	62,7	49,9	58,3	71,6	50,1	58,1
21	Bagged Tree	87,1	95,7	92,9	81,7	87,5	97,6	90,9	88,1
22	Subspace Discriminant	88	92	92,5	86,6	88,5	93,7	89,1	89,4
23	Subspace KNN	<b>98,3</b>	<b>99,4</b>	<b>99,1</b>	<b>97,4</b>	<b>98</b>	99,6	<b>99,3</b>	<b>97,6</b>
24	RUSBoosted Trees	51,3	67,3	65	51,5	57,8	67,1	64,7	59,3

F : Classification Error (Fail)

As a result of the application, it has been observed that the achievement performance of DenseNet, one of the deep learning models, is higher than the other models.

In the machine learning phase, the highest performance was obtained with KNN (Weighted KNN).

The Complexity Matrix of the classification result with the highest performance result in Figure 3; In

Figure 4, the distribution of the highest performance result is given.

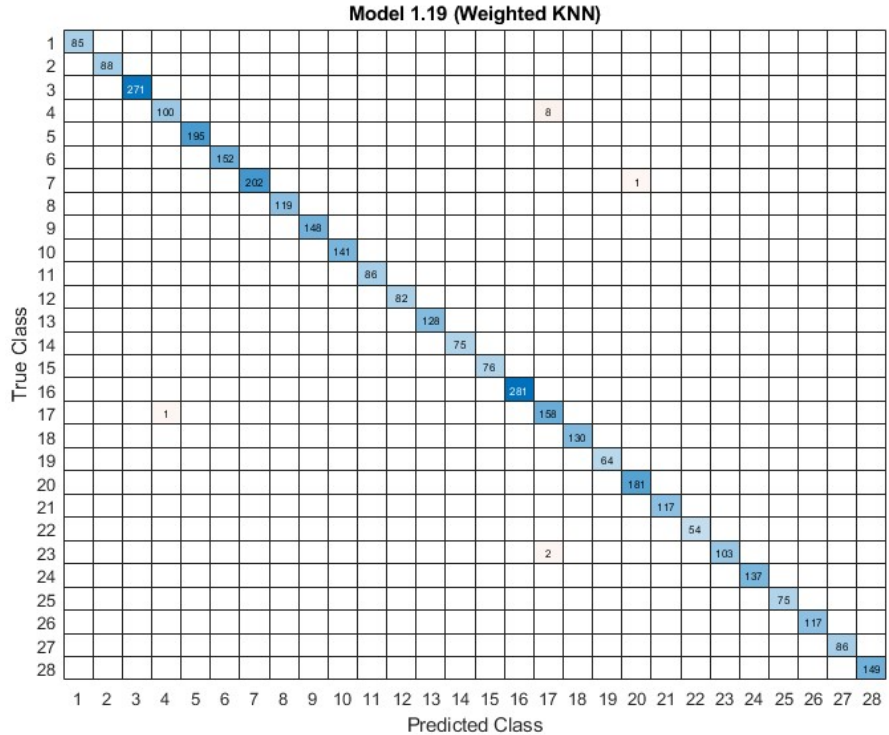


Figure 3. The Complexity Matrix for the Most Successful Classification

The complexity matrix of the classification is given in Figure 3. As can be seen in the figure, 12 images belonging to only 4 species could not be classified. Among the unclassifiable images, there are 8

images in Afyon Black and Karacabey Black species, and 4 images in other species. All remaining images were classified correctly and a classification success of 99.7% was achieved.

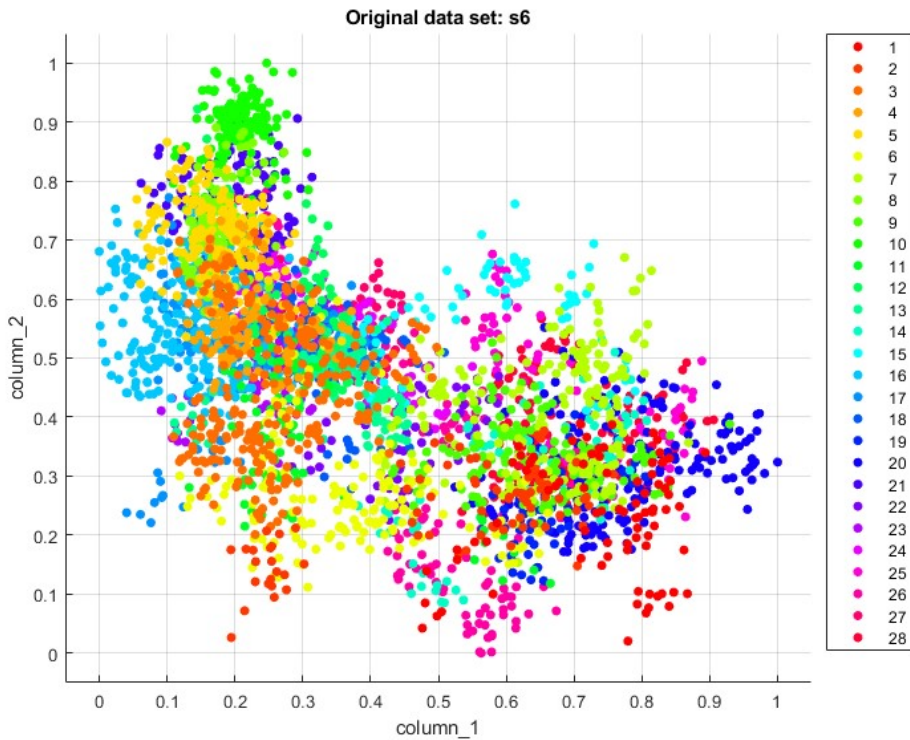


Figure 4. Distribution Result of the Most Successful Classification

#### 4. Conclusions

In this study, the features of a data set consisting of 3703 marble images were extracted using deep learning models, and then it was classified by machine learning. The highest performance was obtained with the KNN classification architecture (Weighted KNN) of the DenseNet deep learning module, with cross-validation at 10 and 99.7%. This rate is approximately 2% higher than the performance of the resource owner from whom we obtained the data set. Unlike other studies, despite the high number of species (28 types of marble), the high performance result is an advantage of the study. The study was tested on two computers with different technical specifications and very close results were obtained.

The study was prepared in MATLAB environment and 8 different deep learning architectures were applied. With deep learning, 1000 features of each image are extracted. While extracting the features, the error rates were calculated and the features with the least errors were kept as a matrix. After feature extraction, machine learning classification models such as DVM, Naive Bayes, and KNN were tested on these matrices at once and sequentially, and classification was performed. In this way, the classification results of each model were seen simultaneously, thus shortening the intermediate processing time. In addition, since the application is made in MATLAB environment, image processing is provided to be more efficient. Since the system processes all deep learning modules at once, it worked for an average of 8-9 hours. Classification processes also took an average of 25 minutes for each deep learning module matrix. This extra time causes an increase in the processing time of the system.

#### Acknowledgment

This study was supported by the Firat University Scientific Research Unit with the project numbered TEKF.22.29.

#### 5. References

Canayaz M. and Uludağ F., 2020. Marble classification using deep neural networks, *European Journal of Technic*, **10** (1), 52 – 63.

- Chollet, F. 2017. Xception: deep learning with depthwise separable convolutions. *Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1800 – 1807.
- Doğan F. and Türkoğlu İ., 2019. Derin öğrenme modelleri ve uygulama alanlarına ilişkin bir derleme. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, **10** (2), 409 – 445.
- Doyle-Kent, M. and Kopacek P., 2020, Is the manufacturing industry on the cusp of a new revolution? *Proceedings of the International Symposium for Production Research*, 432 – 441.
- Duda, R.O., Hart, P.E. and Stork D.G., 2001. *Pattern Classification*, Wiley Interscience, 462 – 463.
- Elmas, B., 2022. Classification varieties of marble and granite by convolutional neural networks with transfer learning method. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **37** (2), 985 –1001.
- Freund, Y. and Schapire, R. E., 1999. A short introduction to boosting. *In Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence*, **14** (5), 771 – 780.
- Goldberg D.E. and Holland J.H., 1988. Genetic algorithms and machine learning. *Kluwer Academic Publishers*, Machine Learning 3, 95 – 99.
- Gültepe, Y., 2019. Makine öğrenmesi algoritmaları ile hava kirliliği tahmini üzerine karşılaştırmalı bir değerlendirme. *European Journal of Science and Technology*, **16**, 8 – 15.
- Hinton G.E. and Salakhutdinov R.R. 2006. Reducing the dimensionality of data with neural networks. *Science*, **313** (5786), 504 – 507.
- Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., Andreetto, M. and Adam, H., 2017. Mobilenets: efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. arXiv preprint arXiv:1704.04861
- Huang, G., Liu, Z., Van der Maaten, L. and Weinberger, K. Q., 2017. Densely connected convolutional networks. *Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2261 – 2269.
- Karaali, İ. and Eminağaoğlu, M., 2020. A convolutional neural network model for marble quality classification. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **36** (1) , 347 – 357.



Karakoyun, M. and Hacibeyođlu, M., 2014. Statistical comparison of machine learning classification algorithms using biomedical data sets, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16** (48), 30 – 41.

Kızrak, M. A. and Bolat, B., 2018. Derin öğrenme ile kalabalık analizi üzerine detaylı bir araştırma. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, **11** (3), 263 – 286.

Kononenko, I., 2001, Machine learning for medical diagnosis: history, state of the art and perspective. *Artificial Intelligence in Medicine*, **23**, 89 – 109.

Martínez-Alajarín, J., Luis-Delgado, J. D. and Tomás-Balibrea, L. M., 2005. Automatic system for quality-based classification of marble textures. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, **35** (4), 488 – 497.

Masters, D. and Luschi, C., 2018. *Revisiting small batch training for deep neural networks*. arXiv preprint arXiv:1804.07612

Özkan Y., 2013. Veri Madenciliđi Yöntemleri. Dr. Rifat Çölkesen, Papatya Yayınları.

Pençe, İ. and Şişeci Çeşmeli, M., 2019. Deep learning in marble slabs classification, *Techno-Science - Scientific Journal of Mehmet Akif Ersoy University*, **2** (1), 21 – 26.

Sayılgan, E., Yüce, Y. K. and İşler, Y., 2021. Evaluation of wavelet features selected via statistical evidence from steady-state visuallyevoked potentials to predict the stimulating frequency. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **36** (2), 593 – 605.

Selver, M. A., Akay, O., Ardalı, E., Yavuz, B. A., Önal, O. and Özden, G., 2009. Cascaded and hierarchical neural networks for classifying surface images of marble slabs. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, **39** (4), 426 – 439.

Simonyan, K. and Zisserman, A., 2015. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv preprint arXiv:1409.1556

Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J. and Wojna, Z., 2016. Rethinking the inception architecture for computer vision. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2818 – 2826.

Topalova, I.C. and Tzokev, A., 2011. Adaptive marble plate classification system based on neural network and plc implementation, *Annals of DAAAM for 2011*

*& Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium*, **22**, 453 – 454.

Torun, Y., Akbaş, M.R., Çelik, M.A. and Kaynar, O., 2019. Development a machine vision system for marble classification, *27th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*.

#### Internet Resources

1- <https://www.imib.org.tr/links/29maden/DOGALTAS.pdf> (Last Access: 12.03.2023)

2- <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/img/DOGALTAS.pdf> (Last Access: 12.03.2023)

## Eğricik Dönüşümü Ayırıştırması Kullanılarak İki Sınıflı Motor Görüntüsü EEG Sinyallerinin Sınıflandırılması

Nebi GEDİK<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup> Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

<sup>\*1</sup> e-mail: [nebi.gedik@sbu.edu.tr](mailto:nebi.gedik@sbu.edu.tr), <https://orcid.org/0000-0002-1560-1058>

The arrival date: 03.10.2022 ; Date of Acceptance: 09.05.2023

### Öz

Beyin bilgisayar arayüzü çalışmaları, temel olarak beyin sinyallerini toplamayı, analiz etmeyi ve kullanılmak üzere komutlara çevirmeyi amaçlamaktadır. Beyin sinyallerinin kontrol komutlarına çevrilmesinde elektroensefalogram (EEG) bir olanak sağlamaktadır. Deneğe özgü ve durağan olmayan yapısı nedeniyle EEG sinyallerinin sınıflandırılması zorlu görevlerdendir ve farklı yaklaşımlarla çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların bir bölümü motor hareket hayali içeren beyin aktivitelerinin analizini kapsamaktadır. Bu makale, eğricik dönüşüm ayırıştırmasını kullanan iki sınıflı bir motor görüntüsü sınıflandırma algoritması sunmaktadır. Önerilen algoritma, BBA yarışması IV veri kümesi IIa kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 22 kanaldan oluşturulan veri kümesinden, seçilen üç kanala (C3, Cz ve C4) ait EEG sinyalleri uygulamada kullanılmaktadır ve kanal sinyallerine 9-30 Hz frekans aralığı için eğricik dönüşümü uygulanmaktadır. Elde edilen dönüşüm katsayıları üzerinden standart sapma, ortalama değer ve log-varyans değerleri hesaplanarak özellik vektörleri oluşturulmaktadır. Doğrudan özellik vektörleri üzerinden ve özellik seçimi yapılarak karşılaştırmalı sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmektedir. Özellik seçimi için t-test yöntemi kullanılmakta, sınıflandırma işlemi k-NN sınıflandırıcısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### Anahtar kelimeler

BBA, EEG, motor görüntüsü, eğricik dönüşümü, k-NN.

## Classification of Two-Class Motor Imagery EEG Signals Using Curvelet Transform Decomposition

### Abstract

Studies on brain computer interfaces primarily attempt to gather, analyze, and transfer brain signals into usable commands. The electroencephalogram (EEG) gives researchers the chance to convert brain signals into control instructions. Due to its subject-specific and non-stationary character, classification of EEG signals is a difficult issue, and research are being undertaken using methodological approaches. Analysis of the brain's activities, including motor imagery, is part of some research that have been done. This article presents a two-class motor imagery classification algorithm using curvelet transform decomposition. The proposed algorithm is carried out using the BCI competition IV dataset IIa. EEG signals of the three selected channels (C3, Cz and C4) from the data set composed of 18 channels are used in practice. Curvelet transform is applied to the selected channel signals for the 9-30 Hz frequency range. The feature vectors are created by calculating the standard deviation, mean and log-variance values over the obtained transform coefficients. Comparative classification processes are carried out over feature vectors with and without feature selection. The t-test method is used for feature selection, and the classification process is carried out using the k-NN classifier.

### Keywords

BCI, EEG, motor imagery, curvelet transform, k-NN.

## 1. Giriş

Beyin Bilgisayar Arayüzü (BBA, BCI brain-computer interface), insan beyni ile doğal bir iletişim ve kontrol olanağı sağlayarak beyin aktivitesini ölçer ve ardından beyin ve bilgisayar arasında doğrudan bir etkileşim kurmak için ölçülen aktiviteleri anlaşılır hale getirmeye çalışır (Guger vd. 2014, Vallabhaneni vd. 2005). EEG tabanlı veriler, cerrahi işlem gerektirmeyen yapısı, düşük maliyeti ve göreceli basitliği nedeniyle BBA çalışmalarında alternatiflerinden daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Constantin vd. 2007, Curran vd. 2003). Yapılan BBA çalışmalarının bir bölümü motor görüntü bilgilerini içeren EEG tabanlı veriler üzerine odaklanmaktadır. Bu çalışmalar, farklı motor görüntülerin nasıl ayırt edileceğine odaklanmış ve başarılı sonuçlara ulaşmak için çeşitli algoritmalar önerilmiştir (Wang vd. 2004, Ramoser vd. 2000, Garrett vd. 2003).

Zhang vd. (2017), motor görüntüleri içeren EEG sinyallerini sınıflandırmak için seyrek Bayesian frekans bantları öğrenme yöntemini kullanmaktadır. Özellik verileri, ortak uzamsal örüntüler (CSP: Common spatial pattern) algoritması kullanılarak ham EEG verilerine birden fazla örtüşen alt bantlı bir filtre bankası uygulanarak elde edilen sinyal kümesinden üretilmektedir. Seyrek Bayesian öğrenme, en etkili özellikleri özellik kümesinden ayırt etmek için kullanılmaktadır. Wang vd. (2016), ayırt edici kararlı durum görsel uyarılmış potansiyel (SSVEP: steady-state visual evoked potentials) özellikleri elde etmek için çok değişkenli doğrusal regresyon (MLR: Multivariate linear regression) yöntemi içeren zaman-uzaysal özellik çıkarımı kullanan bir yaklaşım sunmaktadır. MLR, boyutu küçültülmüş EEG eğitim verilerine ve en uygun ayırt edici alt alanları bulmak için oluşturulan bir etiket matrisine uygulanmaktadır. Zhang vd. (2018), motor görüntü EEG sinyallerini sınıflandırmak için çok çekirdekli aşırı öğrenme makinesine (MK-ELM: Multi-kernel extreme learning machine) dayalı bir yöntem kullanılmaktadır. İki farklı çekirdek fonksiyonunun (Gauss ve polinom) ELM performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. MK-ELM yöntemi, EEG motor örüntü verilerini daha yüksek sınıflandırma

doğruluğu ile sınıflandırmak için bu çekirdeklerin çok çekirdekli bir öğrenme stratejisi ile birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır.

Yang vd. (2017), çok sınıflı EEG sinyallerinin sınıflandırma doğruluğunu iyileştirmeyi ve motor görüntü verilerine dayalı olarak BBA sisteminde ihtiyaç duyulan EEG kanallarının sayısını azaltmayı amaçlamaktadır. Deneğe özgü özellikleri çıkarmak için en uygun zaman-frekans alanlarını arayan bir yöntem sunulmak amaçlanmaktadır. Baali vd. (2015), doğrusal tahmine dayalı tekil değer ayrışımı (LP-SVD: linear prediction singular value decomposition) adı verilen özellik çıkarımı için sinyale bağlı bir ortogonal dönüşüm kullanılmaktadır. Dönüşüm, eşlemeyi LP katsayı filtresi darbe yanıt matrisinin sol tekil vektörleri olarak tanımlayarak elde edilen özellikleri bir lojistik ağaç tabanlı model sınıflandırıcıya sunmaktadır. Chaudhary vd. (2019), motor görüntü EEG sinyallerini sınıflandırmak için derin evrişimli sinir ağlarına (DCNN: Deep convolutional neural networks) dayalı bir yöntem sunmaktadır. Önerilen yöntem ilk olarak zaman frekansı (T-F) yaklaşımlarını uygulayarak EEG sinyallerini görüntülere dönüştürmekte ardından elde edilen görüntülere DCNN uygulanmaktadır. Burada T-F yaklaşımları, kısa süreli Fourier dönüşümü (STFT: Short-time-Fouriertransform) ve sürekli dalgacık dönüşümüdür (CWT: Continuous-wavelet-transform). Gedik (2022) çalışmasında BBA yarışması III veri seti IIIa'ya ait EEG sınıflandırması için ham EEG sinyalleri 4 frekans bandına bölünmekte ve her frekans aralığına eğricik dönüşümü uygulanmaktadır. Dönüşüm katsayıları kullanılarak özellik verisi oluşturulmakta ve sınıflandırıcı olarak SVM ve k-NN kullanılmaktadır. Diğer bir çalışmasında, Gedik (2022), önceki çalışmasındaki özellik verisi oluşturulma aşamasında değişiklik yapmakta ve dalga-atom dönüşümü kullanılmaktadır. Yine Gedik (2022) başka bir çalışmasında, BBA yarışması III veri seti IIIa'ya ait EEG sinyalleri 2 frekans bandına ayırmakta ve her frekans aralığına dalga-atom dönüşümü uygulanmaktadır. Elde edilen dönüşüm katsayılarından ortalama, standart sapma, entropi, medyan, maksimum değer, basıklık, çarpıklık ve

log-varyans değerleri hesaplanarak sınıflandırma başarıları incelenmektedir.

Bu çalışmada, çok ölçekli analiz yöntemi olan eğricik dönüşümü kullanılarak BBA yarışması IV veri seti IIa'ya ait motor örüntü EEG sinyallerinin sınıflandırılması gerçekleştirilmektedir. Eğricik dönüşümü, C3, C4 ve Cz kanallarına EEG sinyallerinin 9-30 Hz frekans aralığına uygulanmakta ve dönüşüme ait katsayılar elde edilmektedir. Bu katsayılardan, ortalama, standart sapma ve log-varyans değerleri hesaplanarak özellik vektörleri üretilmekte ve farklı kombinasyonlarda sınıflandırıcıya sunulurken başarı oranları analiz edilmektedir. Sınıflandırma işlemi k-NN algoritması kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Uygulama i7-8700 CPU @ 3.20 GHz 8 GB ram özellikli bilgisayar ile MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir.

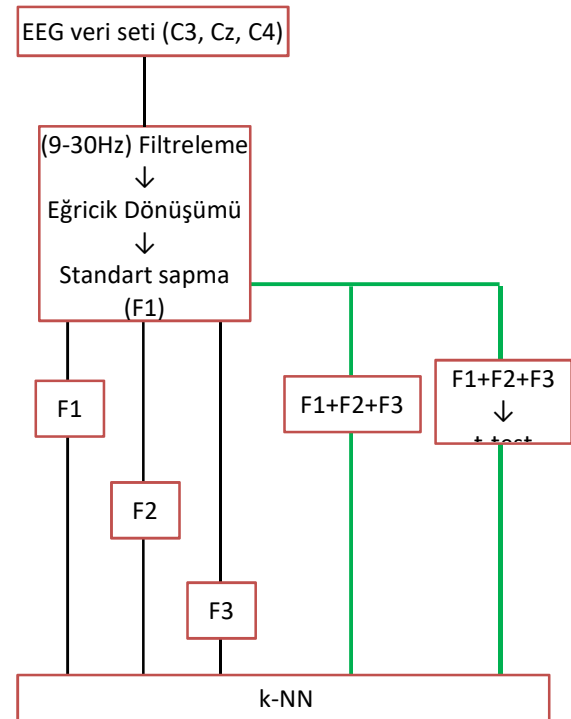
## 2. Materyal ve Metot

Motor görüntü EEG verileri, BBA yarışması IV veri kümesi IIa'dan elde edilmiştir. Veri seti dört sınıf motor görüntü sinyali (sol el, sağ el, ayak ve dil) içermektedir. Bu çalışmada, sağ ve sol el görüntü EEG sinyallerinin sınıflandırılmasına odaklanılmıştır. Bu doğrultuda, ilk işlem olarak sağ ve sol motor görüntü bilgisini içeren sinyaller veri setinden ayrıştırılmaktadır. Ardından, ayrıştırılan sinyallerden de literatürde sıklıkla tercih edilen C3, C4 ve Cz kanallarına ait sinyaller (Yang vd. 2017) çıkarılarak EEG veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan veri setine Butterworth filtresi 9-30 Hz frekans aralığı için uygulanmakta ve ardından eğricik dönüşümü uygulanarak dönüşüm katsayıları elde edilmektedir. Katsayılar üzerinden üç farklı özellik kümesi oluşturulmakta ve farklı kombinasyonlarla sınıflandırıcıya sunulurken başarıları değerlendirilmektedir. Özellik vektörleri ve sınıflandırma kombinasyonları: 1-) Filtrelenmiş EEG sinyallerine uygulanan eğricik dönüşüm katsayılarından ortalama, standart sapma ve log-varyans değerleri hesaplanarak üç özellik vektörü (F1, F2, F3 sırasıyla) oluşturulması ve ayrı ayrı sınıflandırılması, 2-) F1, F2 ve F3 özellik verileri birleştirilerek sınıflandırmanın gerçekleştirilmesi, 3-) birleştirilen özellik vektör kümesine t-test ile özellik

seçimi uygulandıktan sonra sınıflandırma yapılması. Yönteme ait akış şeması Şekil 1'de gösterilmektedir.

### 2.1 Veri kümesi

BBA yarışmaları, veri analiz tekniklerinin doğrulanmasını sağlamak ve BBA teknolojisini gelişimini teşvik etmek için düzenlenmektedir. Her yarışmada çeşitli veri setleri internet üzerinden herkesin kullanımına sunulmakta ve her bir veri seti BBA teknolojisinde deneyimli ve lider laboratuvarlarda hazırlanmış beyin sinyallerinin bir kayıdır. Bu kayıtlar iki bölümden oluşur: etiketli veri bölümü ("eğitim seti") ve etiketlenmemiş veri bölümü ("test seti"). Önerilen yöntem, BBA yarışması IV'te dört sınıf motor görüntü verisini içeren veri kümesi IIa kullanılarak gerçekleştirilmiştir (IntKyn 1). Veri kümesi dokuz deneye ait sağ el, sol el, ayak ve dil bilgilerini içermektedir. Kayıtlar, 22 kanal üzerinden her bir denek için 6 çalışma ve her çalışmada 48 deneme yapılarak toplanarak 288 deneme (her bir motor görüntü için 72) sonucunda oluşturulmuştur (IntKyn 2). Çalışmada, sağ ve sol el görüntü EEG sinyallerinin sınıflandırılmasına odaklanıldığı için eğitim ve test veri seti 144'er EEG sinyal verisinden oluşmaktadır.



Şekil 1. Uygulamaya ait akış şeması.

## 2.2 Eğricik dönüşümü

Eğricik dönüşümü Candès ve Donoho tarafından 2000'da (Candès ve Donoho 2000) ilk versiyon olarak ve 2006'da (Candès vd. 2006) ikinci versiyon olarak tanıtılmıştır. İlk versiyon olan Sürekli Eğricik Dönüşümü, bir görüntünün radon dönüşümünün sırtcık analizini içeren kompleks dizi adımlarını içermektedir. Oldukça yavaş olması nedeniyle algoritma güncellenmiş ve hızlı ayrık eğricik dönüşümü olarak tanımlanarak ikinci versiyon oluşturulmuştur. Eğricik dönüşümü, konum, ölçek ve yön parametreleriyle indekslenen çerçeve elemanlarına sahip çok ölçekli bir dönüşümdür ve aynı zamanda çok yüksek derecede yönlülük ve anizotropi göstermektedir. Verilen bir  $f$  fonksiyonu için, eğricik dönüşümü bir iç çarpım olarak Eşitlik 1'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$C(j, l, k) = \langle f, \phi(j, l, k) \rangle = \int f(x) \phi_{j,l,k} dx \quad (1)$$

burada,  $\phi(j, l, k)$  eğricik temel fonksiyonunu temsil ederken  $j, l, k$  sırasıyla ölçeği, yönü ve konum parametrelerini temsil etmektedir. Ayrık eğricik dönüşümü ise Eşitlik 2'de tanımlanmaktadır.

$$C^D(j, l, k) = \sum_{0 \leq x_1, y_1 < n} f[x_1, y_1] \phi_{j,l,k}^D[x_1, y_1] \quad (2)$$

burada,  $\phi_{j,l,k}^D[x_1, y_1]$  ayrık eğricik dalga formunu temsil etmektedir.

## 3. Bulgular

C3, C4 ve Cz kanallarına ait EEG sinyalleri 9-30 Hz frekans aralığı için filtreledikten sonra eğricik dönüşümü uygulanmakta ve eğricik katsayıları üzerinden beş farklı özellik verisi oluşturulmuştur. İlk üç özellik verisi (F1, F2, F3) eğricik katsayılarından sırasıyla ortalama, standart sapma ve log-varyans hesaplamaları gerçekleştirilerek oluşturulmuştur. Dördüncü özellik kümesi elde edilen üç özellik kümesinin birleştirilmesiyle (F1+F2+F3) oluşturulmuştur. Son olarak birleştirilen özellik kümesine t-test yöntemiyle özellik seçimi uygulanmış ve yeni bir özellik kümesi oluşturulmuştur. Özellik kümeleri ayrı ayrı sınıflandırıcıya sunulmuş ve sınıflandırma sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çizelge

1'de ilk dört özellik kümesine ait sınıflandırma doğruluğu değerleri sunulmaktadır.

**Çizelge 1.** Oluşturulan ilk dört özellik kümesi için sınıflandırma sonuçları.

Özellik verisi	k-NN	k	
F1	Denek 1	55.55556	23
	Denek 2	<b>62.5</b>	41
	Denek 3	56.94444	3
	Denek 4	50	5
	Denek 5	54.16667	7
	Denek 6	51.38889	35
	Denek 7	54.86111	21
	Denek 8	53.47222	3
	Denek 9	59.72222	7
F2	Denek 1	60.41667	37
	Denek 2	56.94444	5
	Denek 3	81.94444	21
	Denek 4	58.33333	17
	Denek 5	56.25	39
	Denek 6	59.72222	7
	Denek 7	54.86111	29
	Denek 8	57.63889	7
	Denek 9	<b>82.63889</b>	41
F3	Denek 1	60.41667	7
	Denek 2	54.16667	39
	Denek 3	61.80556	41
	Denek 4	58.33333	15
	Denek 5	56.94444	23
	Denek 6	57.63889	25
	Denek 7	56.25	11
	Denek 8	52.08333	3
	Denek 9	<b>62.5</b>	37
F1+F2+F3	Denek 1	59.02778	17
	Denek 2	55.55556	3
	Denek 3	77.08333	25
	Denek 4	63.19444	13
	Denek 5	54.86111	5
	Denek 6	56.94444	15
	Denek 7	56.94444	23
	Denek 8	59.72222	7
	Denek 9	<b>81.94444</b>	39

Elde edilen en başarılı sınıflandırma sonuçları F1 özellik verisi için 62.5 %, F2 özellik verisi için 82.64 % ve F3 özellik verisi için 62.5 % dir. Bu değerler sırasıyla denek 2 ve denek 9'a ait EEG verisinden elde edilmiştir. Bütün denekler göz önünde

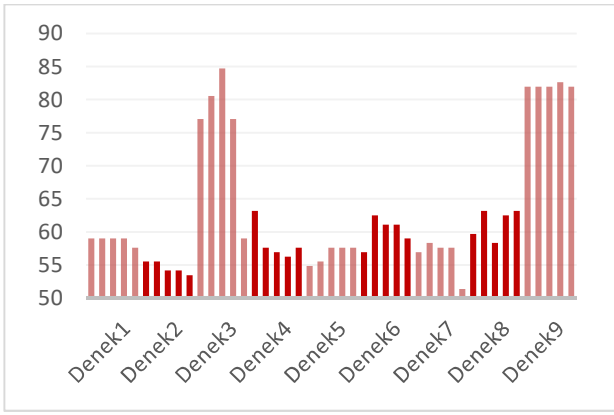
bulundurularak özellik kümesi başarısına bakıldığında F1 özellik verisi için ortalama sınıflandırma sonucu 55.4 %, F2 için 63.2 % ve F3 için 57.8 % olarak elde edilmiştir. Birleştirilen özellik verisi için (F1+F2+F3) en başarılı sınıflandırma sonucu denek 9'a ait EEG verisi ile 81.94 % olarak elde edilmiş, birleştirilen özellik verisi için bütün deneklere ait ortalama sınıflandırma değeri ise 62.81 % olmuştur. Sınıflandırma değerleri göz önünde bulundurulduğunda en başarılı sonuçlar F2 özellik verisi ile elde edilmektedir.

t-test yöntemiyle gerçekleştirilen özellik seçimine ait sınıflandırma sonuçları Çizelge 2'de gösterilmektedir. Birleştirilen özellik verisi t-test yöntemi ile sıralanmış ve bu sıralanmış veri 5 gruba ayrılarak her bir grubun sınıflandırma başarısına bakılmıştır. Gruplar oluşturulurken en yüksek sıralama değeri ve en düşük sıralama değerinin farkı beşe bölünerek grup adım aralığı elde edilmiştir. Her adımda (eşik) sıralanmış özellik verisinin boyutu küçülmekte ve sıralama değeri eşikten büyük olan özellik verisi sınıflandırmada kullanılmaktadır. Yapılan sınıflandırma işlemlerinde özellik seçiminin genel olarak sınıflandırma doğruluğunu iyileştirdiği gözlenmiştir. Elde edilen en başarılı sınıflandırma sonucu 84.72 % olarak denek 2 ye ait EEG verisinden elde edilmiştir. t-test özellik seçimi üzerinden elde edilen sınıflandırma sonuçlarının değişimi Çizelge 2'de gösterilmektedir. Denekler üzerinden özellik kümeleri değerlendirildiğinde en başarılı sonuçlar, denek 1 için F2 ve F3 özellik kümesiyle 60.42 % olarak, denek 2 için F1 özellik kümesiyle 62.5 % olarak, denek 3 için F2 özellik kümesiyle 81.94 % olarak, denek 4 için F1+F2+F3 özellik kümesiyle 63.19 % olarak, denek 5 için F3 özellik kümesiyle 56.94 % olarak, denek 6 için F2 özellik kümesiyle 59.72 % olarak, denek 7 için F1+F2+F3 özellik kümesiyle 56.94 % olarak, denek 8 için F1+F2+F3 özellik kümesiyle 59.72 % olarak ve denek 9 için F2 özellik kümesiyle 82.63 % olarak elde edilmiştir.

**Çizelge 2.** t-test yöntemiyle yapılan özellik seçimi üzerinden gerçekleştirilen sınıflandırmaya ait sonuçlar.

Özellik verisi	k-NN	k
Denek1	59.02778	17
	59.02778	17
	59.02778	17
	59.02778	17
	57.63889	35
Denek2	55.55556	3
	55.55556	3
	54.16667	3
	54.16667	3
	53.47222	3
Denek3	77.08333	25
	80.55556	9
	<b>84.72222</b>	5
	77.08333	7
	59.02778	9
Denek4	63.19444	13
	57.63889	27
	56.94444	15
	56.25	15
	57.63889	27
Denek5	54.86111	5
	55.55556	9
	57.63889	7
	57.63889	7
	57.63889	7
Denek6	56.94444	15
	62.5	31
	61.11111	3
	61.11111	3
	59.02778	23
Denek7	56.94444	23
	58.33333	23
	57.63889	11
	57.63889	11
	51.38889	5
Denek8	59.72222	7
	63.19444	9
	58.33333	15
	62.5	25
	63.19444	23
Denek9	81.94444	39
	81.94444	39
	81.94444	39
	82.63889	37
	81.94444	37

(F1+F2+F3)+t-test



**Şekil 2.** Her bir denek için t-test özellik seçimi üzerinden elde edilen sınıflandırma sonuçları ve değişimi.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, sağ ve sol el hareket hayali bilgilerini içeren motor görüntü EEG sinyallerini sınıflandırmak için alternatif bir çalışma sunulmakta ve eğricik dönüşümün başarısı araştırılmaktadır. Belirli üç kanaldan elde edilen EEG verisi ön işlemde sonra eğricik dönüşümü uygulanarak üç özellik vektörü elde edilmiştir. Elde edilen özellik vektörleri üç farklı sınıflandırma işlemine tabi tutularak başarı oranları değerlendirilmiştir. Özellik vektörleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde, eğricik katsayıları üzerinden standart sapma hesaplamasıyla oluşturulan özellik verisi en başarılı sonucu (82.63 %) denek 9'a ait EEG verisi üzerinden vermektedir. Özellik vektörleri birleştirilerek yapılan sınıflandırma işlemlerinde, t-test yöntemiyle yapılan özellik seçimi işleminin sınıflandırma başarısını genel olarak iyileştirdiği (84.72 %) gözlemlenmiştir.

#### 5. Kaynaklar

- Baali, H., Khorshidtalab, A., Mesbah, M., & Salami, M. J. (2015). A transform-based feature extraction approach for motor imagery tasks classification. *IEEE journal of translational engineering in health and medicine*. **3**, 1-8.
- Candes, E.J., and Donoho, D.L., 2000. Curvelets: A surprisingly effective nonadaptive representation for objects with edges. *Curves and Surfaces*. 105-120.
- Candès E., Demanet L., Donoho D., and Ying L., 2006. Fast Discrete Curvelet Transforms. *Multiscale Modeling and Simulation*, **5(3)**, 861-899.
- Chaudhary, S., Taran, S., Bajaj, V., & Sengur, A. (2019). Convolutional neural network based approach

towards motor imagery tasks EEG signals classification. *IEEE Sensors Journal*. **19(12)**, 4494-4500.

- Constantin A., and Danyluk A., 2007. A Brain-Computer Interface for the Classification of Motor Imagery. Bachelor thesis, Williams College, USA.
- Curran E.A., and Stokes M.J., 2003. Learning to control brain activity: A review of the production and control of EEG components for driving brain-computer interface (BCI) systems. *Brain and cognition*. **51(3)**, 326-336.
- Garrett D., Peterson D.A., Anderson C.W., and Thaut M.H., 2003. Comparison of linear, nonlinear, and feature selection methods for EEG signal classification. *IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering*. **11(2)**, 141-144.
- Gedik N., 2022. Two Class Motor Imagery Classification via Wave Atom Sub-Bants. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Health and Medical Engineering*. **16(1)**, 1-4.
- Gedik N. (2022). Curvelet Transform Based Two Class Motor Imagery Classification. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Health and Medical Engineering*. **16(1)**, 5-8.
- Gedik N. (2022). Wave Atom Transform Based Two Class Motor Imagery Classification. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Computer and Systems Engineering*. **16(1)**, 1-4.
- Guger C., Allison B.Z., and Edlinger G., 2014. Brain-Computer Interface Research: A State-of-the-Art Summary 2, Springer, New York, NY, USA, 2014.
- Ramoser H., Muller-Gerking J., and Pfurtscheller G., 2000. Optimal spatial filtering of single trial EEG during imagined hand movement. *IEEE transactions on rehabilitation engineering*. **8(4)**, 441-446.
- Vallabhaneni A., Wang T., and He B., 2005. Brain-computer interface. *In Neural engineering*, 85-121.
- Wang Y., Zhang Z., Li Y., Gao X., Gao S., and Yang F., 2004. BCI competition 2003-data set IV: an algorithm based on CSSD and FDA for classifying single-trial EEG. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. **51(6)**, 1081-1086.
- Wang H., Zhang Y., Waytowich N.R., Krusienski D.J., Zhou G., Jin J., ... and Cichocki A., 2016. Discriminative feature extraction via multivariate

linear regression for SSVEP-based BCI. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. **24(5)**, 532-541.

Yang Y., Chevallier S., Wiart J., and Bloch I., 2017. Subject-specific time-frequency selection for multi-class motor imagery-based BCIs using few Laplacian EEG channels. *Biomedical Signal Processing and Control*. **38**, 302-311.

Zhang Y., Wang Y., Jin J., and Wang X., 2017. Sparse Bayesian learning for obtaining sparsity of EEG frequency bands-based feature vectors in motor

imagery classification. *International journal of neural systems*. **27(2)**, 1650032.

Zhang Y., Wang Y., Zhou G., Jin J., Wang B., Wang X., and Cichocki A., 2018. Multi-kernel extreme learning machine for EEG classification in brain-computer interfaces. *Expert Systems with Applications*. **96**, 302-310.

***İnternet kaynakları***

1- <https://www.bbc.de/competition/iv/> (25/09/2022)

2- [https://www.bbc.de/competition/iv/desc\\_2a.pdf](https://www.bbc.de/competition/iv/desc_2a.pdf) (25/09/2022)



## Binaların Dış Duvarlarında Uygulanacak Yalıtımın Gömülü Enerjisine Bağlı Kalınlığı ve Isıl Atalet İndeksi

Okan KON  
Balıkesir Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Makine Mühendisliği Bölümü, Çağış Kampüsü 10145, Çağış Balıkesir

e-mail: [okan@balikesir.edu.tr](mailto:okan@balikesir.edu.tr), ORCID ID://[orcid.org/0000-0002-5166-0258](https://orcid.org/0000-0002-5166-0258)  
The arrival date: 28.03.2023 ; Date of Acceptance: 18.05.2023

### Öz

Çalışmada, yalıtım malzemesinin farklı gömülü enerjisine (üretim enerjisine) bağlı farklı yalıtımsız duvar ısı direncine bağlı yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Son yıllarda binalarda kullanılan, yapı ve yalıtım malzemelerinin başlangıçtan, ham madde halinden ve kullanımına kadar olan tüm enerjileri kapsayan, gömülü veya üretim enerjileri bina enerji tüketim incelemelerinde önemli ölçüde dikkate alınmaya başlanmıştır. Isıl atalet indeksi yapı kabuğu yalıtım kalınlığının ile birlikte bina enerji tasarrufu analizlerinde dikkate alınması gerekli önemli parametrelerdendir. Çalışmada ek olarak, yalıtım malzemesinin kalınlığına ve farklı zaman dilimleri için ısıl atalet indeksi değerleri tespit edilmiştir. Isıtma sisteminde doğal gaz ve kömür kullanıldığı kabul edilmiştir. Yalıtım malzemesi olarak poliüretan alınmıştır. En yüksek yalıtım kalınlığı, 250 ısıtma günde  $2.0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  ısıl dirençte  $30 \text{ MJ/kg}$  gömülü enerjide,  $0.064 \text{ m}$  olarak hesaplanmıştır. En düşük yalıtım kalınlığı ise  $100$  ısıtma günde  $2.0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  ısıl dirençte  $150 \text{ MJ/kg}$  gömülü enerjide,  $0.006 \text{ m}$  olarak bulunmuştur.

### Anahtar kelimeler

Gömülü enerji;  
Üretim enerjisi;  
Yalıtım kalınlığı;  
Isıl atalet indeksi;

## The Thickness of Insulation to be Applied on The External Walls of Buildings Depends on Embodied Energy and Thermal Atalet Index

### Abstract

In the study, the insulation thickness was calculated depending on the different embodied energy (production energy) of the insulation material and the wall thermal resistance. In recent years, embedded or production energies, which cover all the energies used in buildings, from raw materials to building and insulation materials, have begun to be considered in building energy consumption reviews. The thermal atalet index, together with the insulation thickness of the building envelope, is one of the essential parameters to be considered in building energy-saving analysis. In the study, thermal atalet index values were determined depending on the thickness of the insulation material for different periods. Natural gas and coal are assumed to be used in the heating system, and Polyurethane was taken as insulation material. The highest insulation thickness was calculated as  $0.064 \text{ m}$  for  $250$  heating days,  $2.0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  thermal resistance and  $30 \text{ MJ/kg}$  embodied energy. The lowest insulation thickness was  $0.006 \text{ m}$  for  $100$  heating days with  $2.0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  thermal resistance  $150 \text{ MJ/kg}$  embodied energy.

### Keywords

Embodied energy;  
Production energy;  
Insulation thickness;  
Thermal atalet index;

## 1.Giriş

Mevcut yapı stokundaki ısıtma ve soğutması için enerji tüketiminin azaltılması, günümüzde küresel sürdürülebilirlik için bir zorluktur ve binaların zarflarının güçlendirmesi ana konulardan biridir. Mevcut binaların zarflarının çoğu düşük yalıtım seviyeleri nedeniyle yüksek ısı kayıplara sahiptirler (Aste v.d. 2015). Mevcut iklimde, ısı yalıtımı, binalarda ısıtma veya soğutma için enerji tüketimini azaltmak, yapıların ve yapı elemanlarının ömrünü uzatmak ve insan konforunu artırmak için çok önemlidir (Malka v.d. 2022).

Mimari enerji tüketimine ilişkin kapsamlı değerlendirme yapıldığında, binaların üç aşamaya ayrılabilen tüm yaşam döngüsünü dikkate almalıdır. Bunlar kullanım öncesi aşama (gömülü enerji), kullanım aşaması (işletme enerjisi) ve kullanım sonrası aşamadır (yıkım veya olası geri dönüşüm ve yeniden kullanım) (Huberman ve Pearlmutter 2008). Bina enerji verimliliğine yönelik araştırmalar, esas olarak bir binanın sürekli kullanımı için gereken enerjiye odaklanırken, üretimde, gömülü veya üretim enerjisi genellikle göz ardı edilir. Bu tür bir yaklaşım, son yıllarda bir binanın termal performansını iyileştiren, ancak yüksek somutlaştırılmış enerji malzemelerine ve ürünlerine dayanan stratejilere yol açmıştır (Huberman ve Pearlmutter 2008). Özellikle 2100 yılına kadar 2 °C' küresel sıcaklık artışı nedeniyle, gömülü veya üretim enerji kullanımının gelecekteki politika hedeflerine dahil edilmesi önemlidir (Koezjakova v.d. 2018). Operasyonel enerji kullanımı düştükçe, somutlaştırılmış enerjinin genel tüketimi en aza indirmedeki rolünün giderek daha belirgin hale gelmektedir (Huberman ve Pearlmutter 2008).

Geleneksel olarak, bina kabuğu bileşenlerinin enerji verimliliği özellikleri, yalıtım kapasitesinin yalnızca inşaat malzemelerinin termal iletkenliğine dayandığı sabit durum kullanılarak belirlenir. Bina kabuğu bileşenlerinin termal ataletini kontrol ederek, bina termal, enerji verimliliği ve yangın performansı gibi bina performansının temel yönleri bütüncül bir şekilde değerlendirilebilir, böylece birbirini etkilemeden dengeli tasarım çözümleri

elde edilir (Soret v.d., 2021). Enerji bilincine sahip bina tasarımı, bina zarfının termofiziksel özelliklerinin, öncelikle termal geçirgenlik (ısı geçiş değeri) gibi kontrol edilmesinden oluşur. Bununla birlikte, ısı geçiş değerinin yanı sıra, zarf termal ataleti de dikkate alınmalıdır. Ayrıca, termal atalet etkilerinin, diğer enerji tasarrufu önlemleri ve verimli bir bina kullanımı ile birleştirilmesi durumunda arttığı gösterilmiştir (Aste v.d., 2009).

Çalışma ile ilgili literatürü incelediğimizde, koezjakova ve arkadaşları çalışmalarında, Hollanda'daki konuttaki en yaygın malzemelerin somutlaştırılmış enerji kullanımını içeren Gömülü Enerji Veri Tabanı Yönetim Sistemi (EEDMS) kullanılarak ısı talebi ile enerji kullanımı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır (Koezjakova v.d. 2018). Amiri ve arkadaşları, yaptıkları çalışmalarında, İzlanda'da bulunan beton binanın, isteğe bağlı üç yapı malzemesi senaryosu (optimize edilmiş beton, hibrit beton-ağaç ve ağaç binalar) için yaşam döngüsü değerlendirmesini kullanarak kullanım öncesi somutlaştırılmış emisyonlara ilişkin değerlendirmeler yapmışlardır (Amiri v.d., 2021). Zhang ve arkadaşları çalışmalarında, geri ödeme yaklaşımını kullanarak yaşam döngüsü değerlendirmesi ve yaşam döngüsü maliyet analizi kullanılarak, İspanya, Hollanda ve İsveç için prefabrike beton eleman sisteminin enerji tasarrufu, karbon azaltımı ve maliyet düşürme yaşam döngüsü performansını incelemişlerdir (Zhang v.d., 2021). Huberman ve Pearlmutter çalışmalarında, güney İsrail'in Negev çöl bölgesinde bir binada hem somutlaştırılmış hem de operasyonel enerji tüketimini analiz ederek, binanın (kütle, yalıtım ve kaplama malzemeleri) enerji gereksinimlerini 50 yıllık yaşam döngüsü boyunca optimize edebilecek yapı malzemelerini olası alternatiflerini belirlememişlerdir (Huberman ve Pearlmutter 2008). Chen ve arkadaşları çalışmalarında, Sidney, Avustralya bir bina için, malzeme tipini ve kalınlığını göz önünde bulundurarak yalıtım sisteminin toplam gömülü enerjisi ile bina kabuğunun termal performansı arasındaki dengeyi bulmak için ortak bir yazılım ve uzantısını kullanan BIM tabanlı bir zarf yalıtım

optimizasyon tasarımını önermektedirler (Chen v.d. 2020). Soret ve arkadaşları çalışmalarında, yangına tepki performansını tahmin etmek için bina bileşenlerinin termal ataletini ve termal yalıtım parametrelerinden elde etmek için sayısal bir model kullanan bütüncül bir değerlendirme yöntemi önerilmiştir (Soret v.d. 2020). Xiao and Zhang çalışmalarında, konutların bina zarfı termal performansının sıcak-yaz ve soğuk-kış alanındaki değerlendirme yöntemi, soğuk kuzey bölgelerinin yönteminde de termal atalet endeksinin bina zarfının termal performansı üzerindeki etkisi de dikkate alınarak, duvarların ve çatıların termal performansının ısı transfer katsayısı veya termal direnç ile belirlenmemesi gerektiğini belirlemişlerdir (Xiao ve Zhang 2013). Yang and Tang yaptıkları çalışmada, Almanya'da yeni inşa edilen bir dairenin enerji tüketimi üzerindeki farklı mineral elyaf, poliüretan ve vakum yalıtım panelini içeren üç farklı dış duvar yalıtım malzemelerinin etkisi araştırılmıştır. İzolasyon malzemelerinin üretimi ve bina alanı ısıtması için birincil enerji kullanımını incelemek için bir enerji analiz modeli oluşturulmuştur. Böylece, her bir yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlıkları ve türü için en düşük toplam enerji tüketimini elde edilmiştir (Yang ve Tang 2017). Reddy ve Jagadish çalışmalarında, Hindistan'daki binalarda, temel yapı malzemelerinin (çimento, çelik vb.) üretiminde enerji tüketimi ve inşaatla kullanılan farklı malzeme türleri için yapı malzemelerinin somutlaşmış enerjileri incelenmiştir. Çalışmada somutlaşmış enerjisinin, enerji verimli/alternatif yapı malzemeleri kullanıldığında %50 oranında azaltılabileceği gösterilmiştir (Reddy ve Jagadish 2003). Asdrubali ve arkadaşları çalışmalarında duvar blokları ve beton paneller gibi duvar yapı ürünlerinin yaklaşık 180 Çevre Ürünleri Beyanı kullanarak analiz etmişlerdir. Birincil enerji (yenilenebilir ve yenilenebilir) ve küresel ısınma potansiyeli ile ilgili veriler bina blok düzeyinde karşılaştırılmıştır. Böylece tasarımcıların ve üreticilerin erken tasarım aşamasında duvar ürünlerinden kaynaklanan etkileri hakkında bilgi vermişlerdir (Asdrubali v.d. 2023). Grazieschi ve arkadaşları yapı yalıtım

malzemelerinin somutlaşmış enerjisi ve karbonu hakkında, 223 Çevresel Ürün Beyanı'ndan alınan 156 değer kapsamlı incelemesi yapmışlardır. Yenilikçi ve gelişmekte olan yalıtım malzemelerine dikkat edilerek incelemişlerdir (Grazieschi v.d. 2021). Roh ve arkadaşları çalışmalarında, Güney Kore'deki 443 apartman binasının tasarım ve malzeme listeleri analiz edilerek yapı malzemelerinin somutlaşmış çevresel etkilerini dikkat alarak, binaların çevresel etkilerinin azaltmak amacıyla kullanım ömrü içeren bir yaşam döngüsü senaryolarına göre altı tip ana yapı malzemelerinin (hazır beton, donatı çeliği, beton tuğla, cam, yalıtım ve alçıtaşı) analizlerini yapmışlardır (Roh v.d. 2018). Nearing ve arkadaşları, toprak yüzeyinin yakınında ısının homojen 1-D difüzyonunu varsayarak toprak termal ataletini tahmin etmek için günlük radyasyon ve spesifik nemine bağlı iki günlük yüzey sıcaklığı ölçümü kullanmışlardır (Nearing v.d. 2012). Aste ve arkadaşları çalışmalarında, farklı dinamik özelliklere sahip birkaç dış duvar sistemi için termal ataletin rolünü artıran parametreleri araştırmışlardır (Aste v.d. 2009). Aste ve arkadaşları çalışmalarında, İtalyan daki bir ofis binası için bina zarfının (çatı, duvarlar ve zeminler) farklı güçlendirme senaryolarına bağlı dinamik termal özelliklerinin ısıtma ve soğutma enerjisi talebi üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir (Aste v.d. 2015). Stéphan ve arkadaşları çalışmalarında, yüksek gözenekli kireçtaşı eski binalarda yalıtımın yaz termal ataletini üzerine etkisi değerlendirmişlerdir. Çalışmada, yalıtımından önce ve sonraki verilerinin kullanılarak, termal ataleti incelemişlerdir (Stéphan v.d. 2013). Gagliano ve arkadaşları çalışmalarında, Katanya'da (İtalya) Villa San Saverio'da bulunan büyük bir binanın doğal havalandırma ve termal ataletin kombinasyonu ile termal davranışının incelenmiştir. Çalışmada sonuç olarak, doğal havalandırma ile yüksek termal atalet kütesinin aşırı ısınma olaylarını önlediğini ve binalarda iyi konfor seviyeleri sağladığını ve yaz döneminde soğutma sistemlerinin ihtiyaçlarını azalttığını göstermektedir (Gagliano v.d. 2014). Bellahcene ve arkadaşları çalışmalarında, değişen iklim koşullarında dört konfigürasyona sahip çok katmanlı bir duvarın termal davranışını

incelemişlerdir. Termal atalet, özellikle katman sıcaklıkları üzerindeki etkisini anlamak için sayısal bir simülasyon kullanılmıştır. Çalışma, bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) kodu kullanılarak 2D kararsız durumda ısı transferinin modellenmesi kullanılmıştır (Bellahcene v.d. 2017). Acharya ve arkadaşları çalışmalarında, kaldırım yapımında kullanılan iki önemli kaplama malzemesi olan asfalt ve beton için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) analizleri kullanılarak aynı boyutlarda ve aynı ortam koşullarında albedo ve termal atalet değerlerinin değişimi incelenmiştir (Acharya v.d. 2021). Kon ve Caner çalışmalarında, taş kaplı ve toprak kaplı kullanılan ve kullanılmayan düz çatı tipleridir üç farklı düz yüzey için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Dış ortam sıcaklığı, kışın ayı için en soğuk olan ocak ayının değeri ve yazın en sıcak ay olan temmuz ayının değeri ile güneş radyasyonu kullanılmıştır. Düz çatı yüzeyler taş kaplı ve toprak kaplı siyah boyalı ile mermer ve izolasyon malzemesi olarak ekstrüde polistiren (XPS) kabul edilir (Kon ve Caner, 2023). Kon ve Yüksel yaptıkları çalışmada, Türkiye'nin kuzeybatı kesiminde yer alan Balıkesir Üniversitesi rektörlük binasının optimum yalıtım kalınlığına sahip dış duvara için binanın enerji tüketimi, ısıtma + soğutma (yıllık) dönemlerinde teorik ve pratik olarak belirlenmişlerdir (Kon ve Yüksel, 2019). Kon ve Yüksel yaptıkları diğer bir çalışmada, 7 katlı bir ana bina ve ana binaya bağlı tek katlı bir matbaadan oluşan örnek binanın çatısı, zeminleri ve dış duvarları için ısıtma, soğutma ve ısıtma+soğutma periyotları için optimum kalınlık, yakıt tüketimi ve yakıt tasarrufu ayrı ayrı hesaplanır. İzolasyon malzemesi için ekstrüde polistiren kullanılır; elektrik soğutma sistemi için kullanılırken, doğal gaz ısıtma sistemi için yakıt olarak kullanılmıştır. Hesaplamalar derece-gün yöntemine ve yaşam döngüsü-maliyet analizine göre yapılmıştır. Hesaplamalar yapılırken, ısıtma merkezine yerleştirilir ve 1 yıl boyunca ölçümler kullanılmıştır (Kon ve Yüksel 2016). Anh ve Pászory çalışmalarında, bazı yaygın, alternatif ve yeni ileri yalıtım malzemeleri için ısıl iletkenlik katsayısını etkileyen faktörler incelenmiştir. En yaygın faktörler nem içeriği, sıcaklık farkı ve yoğunluk ve

bunu dışında hava akış hızı, kalınlık, basınç ve malzeme yaşlanması gibi bazı diğer faktörler dikkate alınmıştır (Anh ve Pászory 2021). Axaopoulos ve arkadaşları çalışmalarında Yunanistan'ın Atina şehri deki örnek binada hem ısıtma hem de soğutma periyodu için üç farklı duvar tipi ile yalıtım malzemesi ve yöndeki dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır (Axaopoulos v.d. 2019). Liu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, toprak ve su faz değişiminin etkisi olan ve olmayan iki farklı Nelder-Mead algoritması kullanan iletken ısı transfer modelinin kullanmışlardır. Bu model ile gömülü boruların donmasından korunmak için dolgu malzemeleri, geometri, toplam uzunluk, yalıtım kalınlığı, boru ve yalıtım arasındaki mesafe ve borunun gömme derinliği gibi farklı faktörlerin ısı performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, faz değişimi sırasında açığa çıkan gizli ısının ısı transfer sürecini önemli ölçüde etkilediği ve faz değişiminin yalıtım tasarımı üzerindeki etkisinin göz ardı edilmemesi gerektiği tespit edilmiştir (Liu v.d. 2019). Aytaç ve Aksoy yaptıkları çalışmada, Elazığ ili için, beş farklı yakıt türü (kömür, doğalgaz, fuel oil, LPG, elektrik) ve iki farklı yalıtım malzemesi (ekspande polistiren, taşyünü) için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar olmak üzere iki farklı duvar modeli üzerinde yapılmıştır (Aytaç ve Aksoy, 2006). Axaopoulos ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Yunanistan'ın Atina'daki hem ısıtma hem de soğutma süresini ve rüzgâr hızını ve yönünü dikkate alarak, farklı bileşim ve yöndeki dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığını belirlenmiştir. Üç tip kompozit, ısı yalıtımlı duvar seçilmiştir (Axaopoulos v.d. 2016). Malka ve arkadaşları çalışmalarında, Arnavutluk'taki farklı bina için Mathcad yazılımını kullanarak dört farklı yalıtım malzemesi (yani, EPS, Grafit, EPS, GW ve RW) ve beş enerji (elektrik, dizel, doğal gaz, sıvılaştırılmış petrol gazı ve biyokütle) için optimize edilmiş yalıtım kalınlıkları hesaplanmışlardır (Malka v.d. 2022).

Çalışmanın amacı, yalıtım malzemesinin 30, 50, 70, 100, 150 MJ/kg gömülü enerjisine (üretim enerjisine) bağlı farklı yalıtımsız duvar ısıl direncine

bağlı yalıtım kalınlığını tespit etmektir. Ek olarak, yalıtım malzemesi kalınlığına ve 60 saniye (1 dakika), 3600 saniye (1 saat) ve 86400 saniye (24 saat) için atalet indeksi değerleri bulunmuştur. Yalıtım malzemesi olarak poliüretan kullanılmıştır. Isıtma sisteminde doğal gaz ve kömür kullanıldığı kabul edilmiştir. Literatürde genel olarak duvarlar için ömür maliyet analizine dayalı optimum yalıtım kalınlığı hesaplamaları yapılmıştır. Bu çalışmada yalıtım malzemesinin gömülü enerjisine (üretim enerjisine) bağlı yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Bununla birlikte yalıtım malzemesinin termal atalet indeksi tespit edilmiştir. Bu iki parametreyi birlikte hesaplanması ve incelenmesi ile literatüre katkı sağlanmış olacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

Yıllık toplam ısıtma enerji yükü, ısıtma yükü ile yalıtımın gömülü enerjisine bağlı enerji değeri toplamına eşittir. Yalıtım malzemesinin gömülü enerjisine bağlı enerji yükü, yoğunluğa, ısı iletim katsayısına ve gömülü enerjiye bağlıdır. Isıtma sistemi yükü dış duvarın ısı transfer katsayısına, ısıtma gün sayısına, ısıtma sistemi verimine bağlıdır [Yang ve Tang 2017].

$$E_{Top} = E_{Isıtma} + E_{Yalıtım} \quad (1)$$

$$E_{Isıtma} = \frac{U \cdot ISG \cdot 24 \cdot N}{\eta_{Isıtma} \cdot 1000} \quad (2)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{iç}} + \frac{1}{R_{duvar}} + \frac{x_{yalıtım}}{\lambda_{yalıtım}} + \frac{1}{\alpha_{dış}}} \quad (3)$$

$$E_{Yalıtım} = \frac{\rho_{yalıtım} \cdot \lambda_{yalıtım} \cdot GE_{yalıtım} \cdot 1000}{3600} \quad (4)$$

$$E_{Top} = \frac{U \cdot ISG \cdot 24 \cdot N}{\eta_{Isıtma} \cdot 1000 \cdot \left( \frac{1}{\alpha_{iç}} + \frac{1}{R_{duvar}} + \frac{x_{yalıtım}}{\lambda_{yalıtım}} + \frac{1}{\alpha_{dış}} \right)} + \frac{\rho_{yalıtım} \cdot \lambda_{yalıtım} \cdot GE_{yalıtım} \cdot 1000}{3600} \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 E_{Top}}{\partial x_{yalıtım}^2} = \frac{2 \cdot ISG \cdot 24 \cdot N \cdot \lambda_{yalıtım}}{\eta_{Isıtma} \cdot 1000 \cdot \left[ \left( \frac{1}{\alpha_{iç}} + \frac{1}{R_{duvar}} + \frac{x_{yalıtım}}{\lambda_{yalıtım}} + \frac{1}{\alpha_{dış}} \right) \right]^3} \quad (6)$$

$$x_{yalıtım} = \left[ -\lambda_{yalıtım} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_{iç}} + \frac{1}{R_{duvar}} + \frac{1}{\alpha_{dış}} \right) \right] + \sqrt{\frac{3 \cdot 6 \cdot ISG \cdot 24 \cdot N \cdot \lambda_{yalıtım}}{1000 \cdot \eta_{Isıtma} \cdot \rho_{yalıtım} \cdot GE_{yalıtım}}} \quad (7)$$

Burada, U tüm duvarın ısı transfer katsayısı ( $W/m^2.K$ ),  $\alpha_{iç}$  ( $0.13 m^2.K/W$ ) ve  $\alpha_{dış}$  ( $0.04 m^2.K/W$ ) iç ve dış ortam yüzeysel ısı dirençleri, GE yalıtım malzemesinin gömülü enerjisini veya üretim enerjisi (MJ/kg),  $\eta_{Isıtma}$  ısıtma sistemi verimini, ISG ısıtma gün sayısını, N yalıtım malzemesinin ömrünü (çalışmada 10 yıl alınmıştır),  $R_{duvar}$  yalıtım dışındaki duvar malzemelerinin toplam ısı direncini ( $m^2.K/W$ ),  $\lambda_{yalıtım}$  yalıtım malzemesinin (poliüretan) ısı iletim katsayısı ( $W/m.K$ ),  $E_{Isıtma}$  ısıtma sistemi enerji ihtiyacını,  $E_{Yalıtım}$  yalıtım malzemesinin üretim enerjisini,  $E_{Top}$  toplam enerji tüketimini ve  $x_{yalıtım}$  yalıtım kalınlığını göstermektedir. Bazı farklı yalıtım malzemelerinin gömülü veya üretim enerjileri örnek verilecek olursa; ekspande polistiren için 115 MJ/kg, ekstrüde polistiren için 113 MJ/kg ve mineral yünü 23 MJ/kg dir [Koezjakova v.d. 2018]. Çalışmada, poliüretan yalıtım malzemesi referans olarak alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre yalıtım malzemesinin gömülü enerji veya üretim enerji değerleri farklı alınmıştır. Böylece, yalıtım malzemesinin gömülü enerji veya üretim enerjisi 30, 50, 70, 100, 150 MJ/kg alınarak gömülü veya üretim enerjiye bağlı yalıtım kalınlığının nasıl değişeceği incelenmiştir.

$$S_{yalıtım} = \sqrt{\frac{2\pi \cdot \lambda_{yalıtım} \cdot C_{yalıtım} \cdot \rho_{yalıtım}}{T}} \quad (8)$$

$$D = \sum_{i=1}^n R \cdot S \quad (9)$$

Burada, duvardaki her bir katmanın S ısı koruma kapasitesi ( $W/m^2.K$ ),  $\lambda$  yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı ( $W/m.K$ ), C özgül ısı ( $J/kg.K$ ),  $\rho$  yalıtım malzemesinin yoğunluğu ( $kg/m^3$ ) ve T zaman (saniye) göstermektedir. D termal atalet indeksi ve R duvardaki her bir katmanın ısı direnci ( $m^2.K/W$ ) dir [Xiao ve Zhang 2013].

**Tablo 1.** Hesaplamalarda kullanılan Parametreler  
(Yang ve Tang 2017, Kon ve Yüksel 2016, Aytaç ve Aksoy, 2006)

Parametre	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Isı İletim Katsayısı (W/m <sup>2</sup> .K)	Gömülü Enerji (Üretim Enerjisi) (MJ/kg)	Spesifik Enerji (J/Kg.K)
Poliüretan Yalıtım Malzemesi	30	0.025	134	1400
Isıtma Sistemi Verimi	Kömür için % 65		Doğal Gaz için % 93	

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında, 100 gün ısıtma yapıldığında gömülü enerji (üretim enerjisi) 30 MJ/kg, 0.6 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.005 m, 50 MJ/kg, 0.8 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.004 m, 70 MJ/kg, 0.9 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.001 m, 100 MJ/kg, 1.1 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.001 m, 150 MJ/kg, 1.4 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.001 m hesaplanmıştır. 150 gün ısıtma yapıldığında gömülü enerji (üretim enerjisi) 30 MJ/kg, 0.5 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.008 m, 50 MJ/kg, 0.6 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.002 m, 70 MJ/kg, 0.7 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.001 m, 100 MJ/kg, 0.9 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.002 m, 150 MJ/kg, 1.1 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.001 m hesaplanmıştır. 200 gün ısıtma yapıldığında gömülü enerji (üretim enerjisi) 30 MJ/kg, 0.4 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.005 m, 50 MJ/kg, 0.5 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.001 m, 70 MJ/kg, 0.6 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.001 m, 100 MJ/kg, 0.9 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.004 m, 150 MJ/kg, 1.0 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.003 m hesaplanmıştır. 250 gün ısıtma yapıldığında gömülü enerji (üretim enerjisi) 30 MJ/kg, 0.4 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.014 m, 50 MJ/kg, 0.5 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.008 m, 70 MJ/kg, 0.6 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.007 m, 100 MJ/kg, 0.7 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.004 m, 150 MJ/kg, 0.8 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.001 m hesaplanmıştır. Bu değerler ve diğer yalıtım kalınlıkları Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1. Yakıt olarak doğal gaz kullanımında a) 100 ısıtma günü, b) 150 ısıtma günü, c) 200 ısıtma günü ve d) 200 ısıtma günü için yalıtım malzemesinin gömülü enerjisine bağlı yalıtım kalınlığı değişimi grafikleri gösterilmiştir.

Yakıt olarak kömür kullanıldığında, 100 gün ısıtma yapıldığında gömülü enerji (üretim enerjisi) 30 MJ/kg, 0.5 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.007 m, 50 MJ/kg, 0.6 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.001 m, 70 MJ/kg, 0.8 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.004 m, 100 MJ/kg, 0.9 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.001 m, 150 MJ/kg, 1.1 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.001 m hesaplanmıştır. 150 gün ısıtma yapıldığında gömülü enerji (üretim enerjisi) 30 MJ/kg, 0.4 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.008 m, 50 MJ/kg, 0.5 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.004 m, 70 MJ/kg, 0.6 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.003 m, 100 MJ/kg, 0.7 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.001 m, 150 MJ/kg, 0.9 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.002 m hesaplanmıştır. 200 gün ısıtma yapıldığında gömülü enerji (üretim enerjisi) 30 MJ/kg, 0.4 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.020 m, 50 MJ/kg, 0.5 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.012 m, 70 MJ/kg, 0.5 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.002 m, 100 MJ/kg, 0.6 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.001 m, 150 MJ/kg, 0.8 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.003 m hesaplanmıştır. 250 gün ısıtma yapıldığında gömülü enerji (üretim enerjisi) 30 MJ/kg, 0.3 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.009 m, 50 MJ/kg, 0.4 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.008 m, 70 MJ/kg, 0.5 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.009 m, 100 MJ/kg, 0.6 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.007 m, 150 MJ/kg, 0.7 m<sup>2</sup>. K/W ısı dirençte 0.003 m hesaplanmıştır. Bu değerler ve diğer yalıtım kalınlıkları Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2. Yakıt olarak doğal gaz kullanımında a) 100 ısıtma günü, b) 150 ısıtma günü, c) 200 ısıtma günü ve d) 200 ısıtma günü için yalıtım malzemesinin gömülü enerjisine bağlı yalıtım kalınlığı değişimi grafikleri gösterilmiştir.

Isıtma gün sayısı ve duvar ısı direnç artışı ile yalıtım kalınlığının artışı doğru orantılıdır. Isıtma gün sayısı ve ısı direnç arttıkça yalıtım kalınlığı artmaktadır. Fakat gömülü enerji (üretim enerji) artışı ile yalıtım kalınlığının artışı ters orantılıdır. Gömülü enerji (üretim enerji) arttıkça yalıtım kalınlığı azalmaktadır. Yalıtım kalınlığında ısıtma gün sayısı, duvar ısı direnci ve gömülü enerji (üretim enerjisi) önemli parametrelerdir.

Yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında 60 saniyede (1 dakikada) ısı atalet indeksi 100 ısıtma günü için 30 MJ/kg gömülü enerjisine bağlı olarak 0.6 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 2.096, 70 MJ/kg gömülü enerjiye

bağlı olarak 0.9 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.419, 150 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 1.4 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.419 hesaplanmıştır. 150 ısıtma günü için 30 MJ/kg gömülü enerjisine bağlı olarak 0.5 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 3.354, 70 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.8 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.419, 150 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 1.1 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.419 hesaplanmıştır. 200 ısıtma günü için 30 MJ/kg gömülü enerjisine bağlı olarak 0.4 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 2.096, 70 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.6 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.419, 150 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.9 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.042 hesaplanmıştır. 250 ısıtma günü için 30 MJ/kg gömülü enerjisine bağlı olarak 0.4 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 5.869, 70 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.6 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 2.934, 150 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.8 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.419 hesaplanmıştır. Bu değerler ve diğer değerler Tablo 2 de verilmiştir. Tablo 2’de doğal gaz yakıt için, ısıtma gün sayısı, gömülü enerjisi, dış duvar ısı direncine bağlı 60 saniye (1 dakika) için ısı atalet indeksi gösterilmiştir. 3600 saniyede (1 saatte) ısı atalet indeksi 100 ısıtma günü için 30 MJ/kg gömülü enerjisine bağlı olarak 0.6 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.271, 70 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.9 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.054, 150 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 1.4 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.054 hesaplanmıştır. 150 ısıtma günü için 30 MJ/kg gömülü enerjisine bağlı olarak 0.5 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.433, 70 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.7 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.054, 150 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 1.1 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.054 hesaplanmıştır. 200 ısıtma günü için 30 MJ/kg gömülü enerjisine bağlı olarak 0.4 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.271, 70 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.6 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.054, 150 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.9 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.005 hesaplanmıştır. 250 ısıtma günü için 30 MJ/kg gömülü enerjisine bağlı olarak 0.4 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.758, 70 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.6 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.379, 150 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.8 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.054 hesaplanmıştır. Bu değerler ve diğer değerler Tablo 3 de verilmiştir. Tablo 3’te Doğal gaz yakıt için, ısıtma gün sayısı,

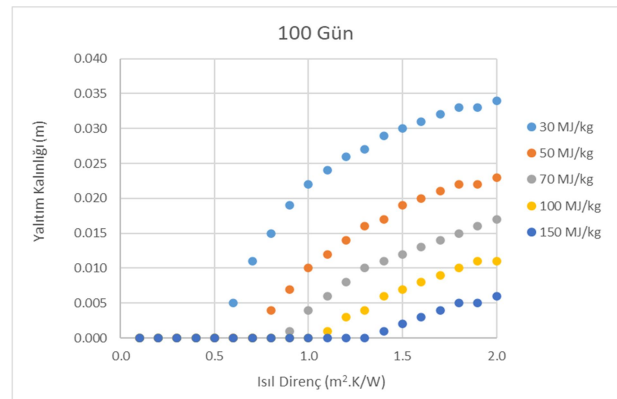
gömülü enerjisi, dış duvar ısı direncine bağlı 60 saniye (1 dakika) için ısı atalet indeksi gösterilmiştir. 86400 saniyede (1 günde) ısı atalet indeksi 100 ısıtma günü için 30 MJ/kg gömülü enerjisine bağlı olarak 0.6 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.055, 70 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.9 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.011, 150 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 1.4 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.011 hesaplanmıştır. 150 ısıtma günü için 30 MJ/kg gömülü enerjisine bağlı olarak 0.5 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.088, 70 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.7 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.011, 150 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 1.1 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.011 hesaplanmıştır. 200 ısıtma günü için 30 MJ/kg gömülü enerjisine bağlı olarak 0.4 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.055, 70 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.6 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.011, 150 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.9 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.001 hesaplanmıştır. 250 ısıtma günü için 30 MJ/kg gömülü enerjisine bağlı olarak 0.4 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.155, 70 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.6 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.077, 150 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.8 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.011 hesaplanmıştır. Bu değerler ve diğer değerler Tablo 4 de verilmiştir. Tablo 4 doğal gaz yakıt için, ısıtma gün sayısı, gömülü enerjisi, dış duvar ısı direncine bağlı 60 saniye (1 dakika) için ısı atalet indeksi gösterilmiştir.

Yakıt olarak kömür kullanıldığında 60 saniyede (1 dakikada) ısı atalet indeksi 100 ısıtma günü için 30 MJ/kg gömülü enerjisine bağlı olarak 0.5 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 2.034, 70 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.8 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 1.677, 150 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 1.1 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.419 hesaplanmıştır. 150 ısıtma günü için 30 MJ/kg gömülü enerjisine bağlı olarak 0.4 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 3.354, 70 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.6 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 1.258, 150 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.9 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.838 hesaplanmıştır. 200 ısıtma günü için 30 MJ/kg gömülü enerjisine bağlı olarak 0.4 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 8.384, 70 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı olarak 0.5 m<sup>2</sup>.K/W ısı direnç için 0.838, 150 MJ/kg gömülü enerjiye bağlı

olarak  $0.8 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $1.258$  hesaplanmıştır.  $250$  ısıtma günü için  $30 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjisine bağlı olarak  $0.3 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $3.773$ ,  $70 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $0.5 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $3.773$ ,  $150 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $0.7 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $1.258$  hesaplanmıştır. Bu değerler ve diğer değerler Tablo 5 de verilmiştir. Tablo 5'te kömür yakıt için, Isıtma gün sayısı, gömülü enerjisi, dış duvar ısıl direncine bağlı  $60$  saniye ( $1$  dakika) için Isıl atalet indeksi gösterilmiştir.  $3600$  saniyede ( $1$  saatte) ısıl atalet indeksi  $100$  ısıtma günü için  $30 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjisine bağlı olarak  $0.5 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.379$ ,  $70 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $0.8 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.216$ ,  $150 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $1.1 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.054$  hesaplanmıştır.  $150$  ısıtma günü için  $30 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjisine bağlı olarak  $0.4 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.433$ ,  $70 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $0.6 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.162$ ,  $150 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $0.9 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.108$  hesaplanmıştır.  $200$  ısıtma günü için  $30 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjisine bağlı olarak  $0.4 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $1.082$ ,  $70 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $0.5 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.108$ ,  $150 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $0.8 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.162$  hesaplanmıştır.  $250$  ısıtma günü için  $30 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjisine bağlı olarak  $0.3 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.487$ ,  $70 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $0.5 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.487$ ,  $150 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $0.7 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.162$  hesaplanmıştır. Bu değerler ve diğer değerler Tablo 6 da verilmiştir. Tablo 6'da kömür yakıt için, Isıtma gün sayısı, gömülü enerjisi, dış duvar ısıl direncine bağlı  $60$  saniye ( $1$  dakika) için Isıl atalet indeksi gösterilmiştir.  $86400$  saniyede ( $1$  günde) ısıl atalet indeksi  $100$  ısıtma günü için  $30 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjisine bağlı olarak  $0.5 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.077$ ,  $70 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $0.8 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.044$ ,  $150 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $1.1 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.011$  hesaplanmıştır.  $150$  ısıtma günü için  $30 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjisine bağlı olarak  $0.4 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.088$ ,  $70 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $0.6 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.033$ ,  $150$

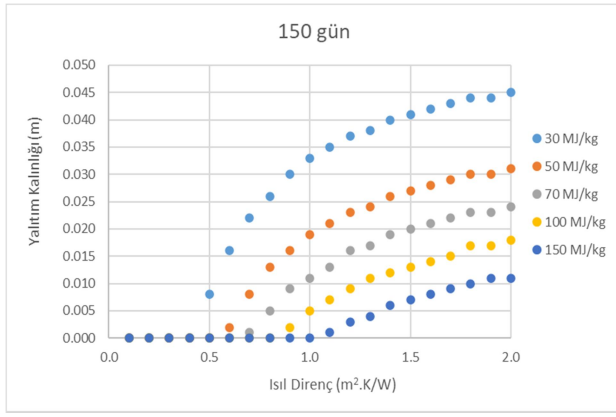
$\text{MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $0.9 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.022$  hesaplanmıştır.  $200$  ısıtma günü için  $30 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjisine bağlı olarak  $0.4 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.221$ ,  $70 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $0.5 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.022$ ,  $150 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $0.8 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.033$  hesaplanmıştır.  $250$  ısıtma günü için  $30 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjisine bağlı olarak  $0.3 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.099$ ,  $70 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $0.5 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.099$ ,  $150 \text{ MJ}/\text{kg}$  gömülü enerjiye bağlı olarak  $0.7 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ısıl direnç için  $0.033$  hesaplanmıştır. Bu değerler ve diğer değerler Tablo 7 de verilmiştir. Tablo 7 de kömür yakıt için, Isıtma gün sayısı, gömülü enerjisi, dış duvar ısıl direncine bağlı  $60$  saniye ( $1$  dakika) için Isıl atalet indeksi gösterilmiştir.

Tüm ısıtma gün değerleri ve her iki yakıt türü için yalıtım malzemesinin gömülü enerjisi artması ile daha yüksek duvar ısıl dirençlerinde ısıl atalet indeksi değeri hesaplanmaya başlamaktadır. Tüm zaman dilimleri için ( $1$  dakika,  $1$  saat ve  $1$  gün) tüm ısıtma gün sayılarında aynı duvar ısıl direnç değerlerinde ısıl atalet indeksi tespit edilmiştir. Isıl atalet indeksinde zaman diliminden çok yalıtım malzemesinin gömülü enerjisi (üretim enerjisi) etkili parametredir.

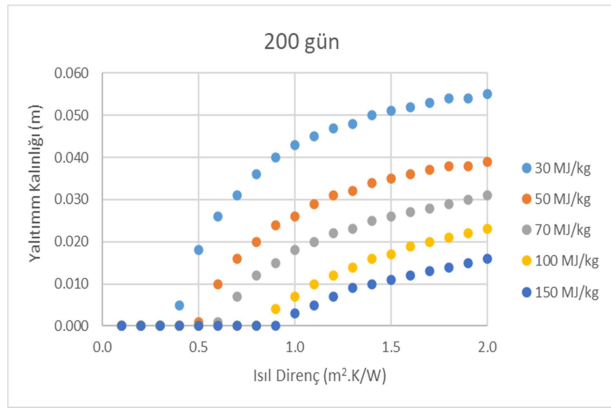


(a)

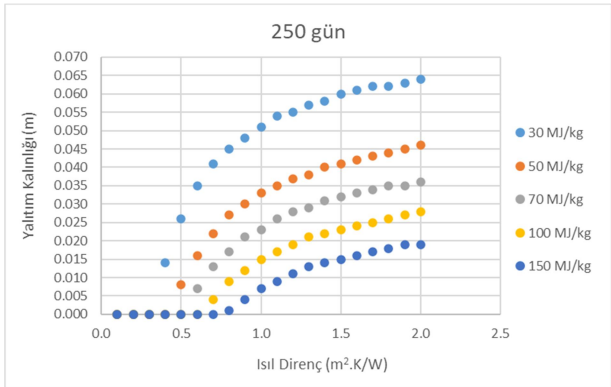




(b)

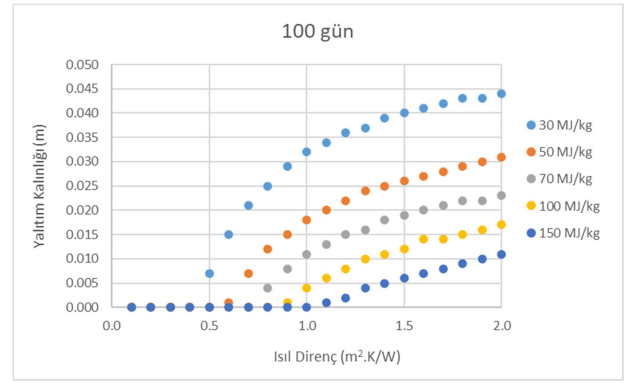


(c)

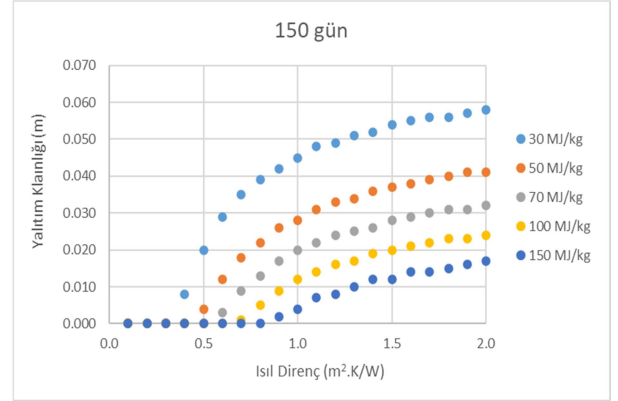


(d)

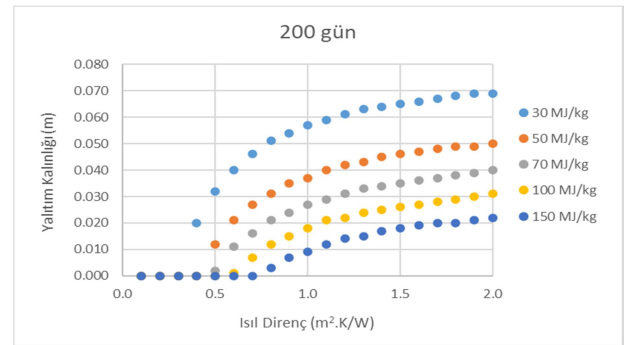
**Şekil 1.** Yakıt olarak doğal gaz kullanımında a) 100 ısıtma günü, b) 150 ısıtma günü, c) 200 ısıtma günü ve d) 250 ısıtma günü için yalıtım malzemesinin gömülü enerjisine bağlı yalıtım kalınlığı değişimi grafikleri



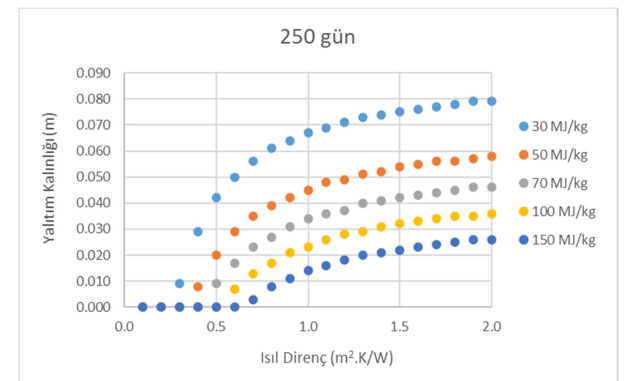
(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 2.** Yakıt olarak kömür kullanımında a) 100 ısıtma günü, b) 150 ısıtma günü, c) 200 ısıtma günü ve d) 250 ısıtma günü için yalıtım malzemesinin gömülü enerjisine bağlı yalıtım kalınlığı değişimi grafikleri

**Tablo 2.** Doğal gaz yakıt için, Isıtma gün sayısı, gömülü enerjisi, dış duvar ısıl direncine bağlı 60 saniye (1 dakika) için Isıl atalet indeksi

Isıl Direnç (m <sup>2</sup> .K/W)	Isıtma Gün Sayısı					
	100 gün			200 gün		
	Gömülü Enerji					
	30	70	150	30	70	150
	60 saniye					
0.1	---	---	---	---	---	---
0.2	---	---	---	---	---	---
0.3	---	---	---	---	---	---
0.4	---	---	---	2.096	---	---
0.5	---	---	---	7.546	---	---
0.6	2.096	---	---	10.899	0.419	---
0.7	4.611	---	---	12.995	2.934	---
0.8	6.288	---	---	15.091	5.030	---
0.9	7.965	0.419	---	16.768	6.288	0.042
1.0	9.222	1.677	---	18.026	7.546	1.258
1.1	10.061	2.515	---	18.864	8.384	2.096
1.2	10.899	3.354	---	19.702	9.222	2.934
1.3	11.318	4.192	---	20.122	9.642	3.773
1.4	12.157	4.611	0.419	20.960	10.480	4.192
1.5	12.576	5.030	0.838	21.379	10.899	4.611
1.6	12.995	5.450	1.258	21.798	11.318	5.030
1.7	13.414	5.869	1.677	22.218	11.738	5.450
1.8	13.834	6.288	2.096	22.637	12.157	5.869
1.9	13.834	6.707	2.096	22.637	12.576	6.288
2.0	14.253	7.126	2.515	23.056	12.995	6.707

**Tablo 3.** Doğal gaz yakıt için, Isıtma gün sayısı, gömülü enerjisi, dış duvar ısıl direncine bağlı 3600 saniye (1 saat) için Isıl atalet indeksi

Isıl Direnç (m <sup>2</sup> .K/W)	Isıtma Gün Sayısı					
	100 gün			200 gün		
	Gömülü Enerji					
	30	70	150	30	70	150
	3600 saniye					
0.1	---	---	---	---	---	---
0.2	---	---	---	---	---	---
0.3	---	---	---	---	---	---
0.4	---	---	---	0.271	---	---
0.5	---	---	---	0.974	---	---
0.6	0.271	---	---	1.407	0.054	---
0.7	0.595	---	---	1.678	0.379	---
0.8	0.812	---	---	1.948	0.649	---
0.9	1.028	0.054	---	2.165	0.812	0.005
1.0	1.191	0.216	---	2.327	0.974	0.162
1.1	1.299	0.325	---	2.435	1.082	0.271
1.2	1.407	0.433	---	2.544	1.191	0.379
1.3	1.461	0.541	---	2.598	1.245	0.487
1.4	1.569	0.595	0.054	2.706	1.353	0.541
1.5	1.624	0.649	0.108	2.760	1.407	0.595
1.6	1.678	0.704	0.162	2.814	1.461	0.649
1.7	1.732	0.758	0.216	2.868	1.515	0.704
1.8	1.786	0.812	0.271	2.922	1.569	0.758
1.9	1.786	0.866	0.271	2.922	1.624	0.812
2.0	1.840	0.920	0.325	2.977	1.678	0.866

**Tablo 4.** Doğal gaz yakıt için, Isıtma gün sayısı, gömülü enerjisi, dış duvar ısıl direncine bağlı 86400 saniye (1 gün) için Isıl atalet indeksi

Isıl Direnç (m <sup>2</sup> .K/W)	Isıtma Gün Sayısı					
	100 gün			200 gün		
	Gömülü Enerji					
	30	70	150	30	70	150
	86400 saniye					
0.1	---	---	---	---	---	---
0.2	---	---	---	---	---	---
0.3	---	---	---	---	---	---
0.4	---	---	---	0.055	---	---
0.5	---	---	---	0.199	---	---
0.6	0.055	---	---	0.287	0.011	---
0.7	0.121	---	---	0.342	0.077	---
0.8	0.166	---	---	0.397	0.132	---
0.9	0.210	0.011	---	0.442	0.166	0.001
1.0	0.243	0.044	---	0.475	0.199	0.033
1.1	0.265	0.066	---	0.497	0.221	0.055
1.2	0.287	0.088	---	0.519	0.243	0.077
1.3	0.298	0.110	---	0.530	0.254	0.099
1.4	0.320	0.121	0.011	0.552	0.276	0.110
1.5	0.331	0.132	0.022	0.563	0.287	0.121
1.6	0.342	0.144	0.033	0.574	0.298	0.132
1.7	0.353	0.155	0.044	0.585	0.309	0.144
1.8	0.364	0.166	0.055	0.596	0.320	0.155
1.9	0.364	0.177	0.055	0.596	0.331	0.166
2.0	0.375	0.188	0.066	0.607	0.342	0.177

**Tablo 5.** Kömür yakıt için, Isıtma gün sayısı, gömülü enerjisi, dış duvar ısıl direncine bağlı 60 saniye (1 dakika) için Isıl atalet indeksi

Isıl Direnç (m <sup>2</sup> .K/W)	Isıtma Gün Sayısı					
	100 gün			200 gün		
	Gömülü Enerji					
	30	70	150	30	70	150
	60 saniye					
0.1	---	---	---	---	---	---
0.2	---	---	---	---	---	---
0.3	---	---	---	---	---	---
0.4	---	---	---	8.384	---	---
0.5	2.934	---	---	13.414	0.838	---
0.6	6.288	---	---	16.768	4.611	---
0.7	8.803	---	---	19.283	6.707	---
0.8	10.480	1.677	---	21.379	8.803	1.258
0.9	12.157	3.354	---	22.637	10.061	2.934
1.0	13.414	4.611	---	23.894	11.318	3.773
1.1	14.253	5.450	0.419	24.733	12.157	5.030
1.2	15.091	6.288	0.838	25.571	12.995	5.869
1.3	15.510	6.707	1.677	26.410	13.834	6.288
1.4	16.349	7.546	2.096	26.829	14.253	7.126
1.5	16.768	7.965	2.515	27.248	14.672	7.546
1.6	17.187	8.384	2.934	27.667	15.091	7.965
1.7	17.606	8.803	3.354	28.086	15.510	8.384
1.8	18.026	9.222	3.773	28.506	15.930	8.803
1.9	18.026	9.222	4.192	28.925	16.349	8.803
2.0	18.445	9.642	4.611	28.925	16.768	9.222

**Tablo 6.** Kömür yakıt için, Isıtma gün sayısı, gömülü enerjisi, dış duvar ısıl direncine bağlı 3600 saniye (1 saat) için Isıl atalet indeksi

Isıl Direnç (m <sup>2</sup> .K/W)	Isıtma Gün Sayısı					
	100 gün			200 gün		
	Gömülü Enerji					
	30	70	150	30	70	150
	3600 saniye					
0.1	---	---	---	---	---	---
0.2	---	---	---	---	---	---
0.3	---	---	---	---	---	---
0.4	---	---	---	1.082	---	---
0.5	0.379	---	---	1.732	0.108	---
0.6	0.812	---	---	2.165	0.595	---
0.7	1.137	---	---	2.490	0.866	---
0.8	1.353	0.216	---	2.760	1.137	0.162
0.9	1.569	0.433	---	2.922	1.299	0.379
1.0	1.732	0.595	---	3.085	1.461	0.487
1.1	1.840	0.704	0.054	3.193	1.569	0.649
1.2	1.948	0.812	0.108	3.301	1.678	0.758
1.3	2.002	0.866	0.216	3.410	1.786	0.812
1.4	2.111	0.974	0.271	3.464	1.840	0.920
1.5	2.165	1.028	0.325	3.518	1.894	0.974
1.6	2.219	1.082	0.379	3.572	1.948	1.028
1.7	2.273	1.137	0.433	3.626	2.002	1.082
1.8	2.327	1.191	0.487	3.680	2.057	1.082
1.9	2.327	1.191	0.541	3.734	2.111	1.137
2.0	2.381	1.245	0.595	3.734	2.165	1.191

**Tablo 7.** Kömür yakıt için, Isıtma gün sayısı, gömülü enerjisi, dış duvar ısıl direncine bağlı 86400 saniye (1 gün) için Isıl atalet indeksi

Isıl Direnç (m <sup>2</sup> .K/W)	Isıtma Gün Sayısı					
	100 gün			200 gün		
	Gömülü Enerji					
	30	70	150	30	70	150
	86400 saniye					
0.1	---	---	---	---	---	---
0.2	---	---	---	---	---	---
0.3	---	---	---	---	---	---
0.4	---	---	---	0.221	---	---
0.5	0.077	---	---	0.353	0.022	---
0.6	0.166	---	---	0.442	0.121	---
0.7	0.232	---	---	0.508	0.177	---
0.8	0.276	0.044	---	0.563	0.232	0.033
0.9	0.320	0.088	---	0.596	0.265	0.077
1.0	0.353	0.121	---	0.629	0.298	0.099
1.1	0.375	0.144	0.011	0.651	0.320	0.132
1.2	0.397	0.166	0.022	0.673	0.342	0.155
1.3	0.408	0.177	0.044	0.696	0.364	0.166
1.4	0.431	0.199	0.055	0.707	0.375	0.188
1.5	0.442	0.210	0.066	0.718	0.386	0.199
1.6	0.453	0.221	0.077	0.729	0.397	0.210
1.7	0.464	0.232	0.088	0.740	0.408	0.221
1.8	0.475	0.243	0.099	0.751	0.420	0.221
1.9	0.475	0.243	0.110	0.762	0.431	0.232
2.0	0.486	0.254	0.121	0.762	0.442	0.243

#### 4. Sonuç

Isıtma gün sayısı arttıkça yalıtım kalınlığı artmaktadır. Isıl direnç arttıkça yalıtım kalınlığı artmaktadır. Yalıtım malzemesinin gömülü enerji arttıkça yalıtım kalınlığı azalmaktadır. Doğal gaz yakıtı kullanımında; en yüksek yalıtım kalınlığı, 250 ısıtma günde 2.0 m<sup>2</sup>.K/W ısıl dirençte 30 MJ/kg gömülü enerjide, 0.064 m olarak hesaplanmıştır. En düşük yalıtım kalınlığı ise 100 ısıtma günde 2.0 m<sup>2</sup>.K/W ısıl dirençte 150 MJ/kg gömülü enerjide, 0.006 m olarak bulunmuştur. Kömür yakıtı kullanımında; en yüksek yalıtım kalınlığı, 250 ısıtma günde 2.0 m<sup>2</sup>.K/W ısıl dirençte 30 MJ/kg gömülü enerjide, 0.079 m olarak hesaplanmıştır. En düşük yalıtım kalınlığı ise 100 ısıtma günde 2.0 m<sup>2</sup>.K/W ısıl dirençte 150 MJ/kg gömülü enerjide, 0.011 m olarak bulunmuştur. Isıtma amaçlı kömür yakıtı kullanımının, doğal gaz kullanımından daha yüksek yalıtım kalınlığı değerler hesaplanmıştır.

Zaman dilimi arttıkça ısıl atalet indeksi azalmaktadır. Doğal gaz yakıtı için 250 ısıtma günü için 2.0 m<sup>2</sup>.K/W duvar ısıl direncinde 60 saniyede ısıl atalet indeksi 7.965, 3600 saniyede ısıl atalet indeksi 1.028 ve 86400 saniyede 0.210 olarak hesaplanmıştır. Kömür yakıtı için 60 saniyede ısıl atalet indeksi 10.899, 3600 saniyede ısıl atalet indeksi 1.407 ve 86400 saniyede 0.287 olarak hesaplanmıştır. Kömür yakıtı kullanımında doğal gaz yakıtına göre yalıtım malzemesine bağlı ısıl atalet indeksi daha yüksek değerlerde tespit edilmiştir.

Isıtma amaçlı kömür yakıtı kullanımında, doğal gaz yakıtına göre yalıtım malzemesine bağlı ısıl atalet indeksi daha yüksek değerlerde tespit edilmiştir.

İlerideki çalışmalarda hem farklı yalıtım malzemeleri ve hem de yapı malzemelerinin gömülü veya üretim enerjileri dikkate alınarak yapı kabuğunu oluşturan dış duvar, döşeme ve tavan için yalıtım kalınlığının nasıl değişeceği incelenecektir. Buna bağlı olarak ısıl atalet indeksi hesaplamaları yapılarak, ısıl atalet indeksinin araştırılacaktır.

## 5. Kaynaklar

- Acharya T., Riehl B. and Fuchs A. 2021. *Effects of Albedo and Thermal Inertia on Pavement Surface Temperatures with Convective Boundary Conditions—A CFD Study. Processes*, 9, **11**, 2078.
- Amiri A., Emami N., Ottelin J., Sorvari J., Marteinsson B., Heinonen J. and Junnila S., 2021. *Embodied emissions of buildings- A forgotten factor in green building certificates, Energy and Buildings*, **241**, 110962.
- Anh L. D. H. and Pásztor Z., 2021. *An overview of factors influencing thermal conductivity of building insulation materials, Journal of Building Engineering*, **44**, 102604.
- Asdrubali, F., Grazieschi, G., Roncone, M., Thiebat, F. and Carbonaro, C. 2023. *Sustainability of Building Materials: Embodied Energy and Embodied Carbon of Masonry. Energies*, **16**, 1846.
- Aste N., Angelotti A. and Buzzetti M., 2009. *The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings, Energy and Buildings*, 41, **11**, 1181-1187.
- Aste N., Leonforte F., Manfren M. and Mazzon M., 2015. *Thermal inertia and energy efficiency – Parametric simulation assessment on a calibrated case study, Applied Energy*, **145**, 111-123.
- Axaopoulos I., Axaopoulos P., Gelegenis J. and Fylladitakis E.D. 2019. *Optimum external wall insulation thickness considering the annual CO<sub>2</sub> emissions. Journal of Building Physics*, 42, **4**, 527-544.
- Axaopoulos I., Axaopoulos P. and Gelegenis J., 2014. *Optimum insulation thickness for external walls on different orientations considering the speed and direction of the wind, Applied Energy*, **117**, 167-175.
- Aytaç A. ve Aksoy U. T., 2006. *Enerji Tasarrufu için Dış Duvarlarda Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Isıtma Maliyeti İlişkisi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21, **4**, 753-758.
- Bellahcene L., Cheknane A., Bekkouche S.M.A. and Sahel D., 2017. *The effect of the thermal inertia on the thermal transfer in building wall, E3S Web Conf.*, **22**, 00013.
- Chen Z., Hammad A. W. A. and Akbarnezhad I. K. A., 2020. *Optimising Embodied Energy and Thermal Performance of Thermal Insulation in Building Envelopes via an Automated Building Information Modelling (BIM) Tool, Buildings*, **10**, 218.
- Gagliano A., Patania F., Nocera F. and Signorello C., 2014. *Assessment of the dynamic thermal performance of massive buildings, Energy and Buildings*, **72**, 361-370.
- Grazieschi G., Asdrubali F. and Thomas G., 2021. *Embodied energy and carbon of building insulating materials: A critical review, Cleaner Environmental Systems*, **2**, 100032.
- Huberman N. and Pearlmutter D., 2008. *A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert, Energy and Buildings*, **40**, 837–848.
- Koezjakova A., Urge-Vorsatz D., Crijns-Graus W. and van den Broek M., 2018. *The relationship between operational energy demand and embodied energy in Dutch residential buildings, Energy and Buildings*, **165**, 233-245.
- Kon O. and Caner İ., 2023. *Calculation of Insulation Thickness Depending on The Coolest and Hottest Climate Conditions for Different Flat Roof Types of Buildings, Black Sea Journal of Engineering and Science*, 6, **1**, 1-9.
- Kon O. and Yüksel B., 2019. *Energy consumption based on insulation thickness of exterior walls in*

- public buildings, Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Energy* **172**, **4**, 135-147.
- Kon O. and Yüksel B., 2016. Optimum Insulation Thickness Calculated by Measuring of Roof, Floor And Exterior Walls in Buildings Used for Different Purposes, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, **36**, **1**, 17-27.
- Liu H., Maghoul P. and Shalaby A., 2019. Optimum insulation design for buried utilities subject to frost action in cold regions using the Nelder-Mead algorithm, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **130**, 613-639.
- Malka L., Kuriqi A. and Haxhimusa A., 2022. Optimum insulation thickness design of exterior walls and overhauling cost to enhance the energy efficiency of Albanian's buildings stock, *Journal of Cleaner Production*, **381**, **1**, 135160.
- Nearing G. S., Moran M. S., Scott R. L. and Ponce-Campos G., 2012. Coupling diffusion and maximum entropy models to estimate thermal inertia, *Remote Sensing of Environment*, **119**, 222-231.
- Reddy B.V. V. and Jagadish K.S., 2003. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies, *Energy and Buildings*, **35**, **2**, 129-137.
- Roh, S.; Tae, S. and Kim, R. 2018. Analysis of Embodied Environmental Impacts of Korean Apartment Buildings Considering Major Building Materials. *Sustainability*, **10**, 1693.
- Stéphan E., Cantin R., Caucheteux A., Tasca-Guernouti S. and Michel P., 2014. Experimental assessment of thermal inertia in insulated and non-insulated old limestone buildings, *Building and Environment*, **80**, 241-248.
- Soret G.M., Vacca P., Tignard J., Hidalgo J.P., Maluk C., Aitchison M. and Torero J. L., 2021. Thermal inertia as an integrative parameter for building performance, *Journal of Building Engineering*, **33**, 101623.
- Xiao, M. and Zhang, G. Q., 2013. The Influence of Thermal Inertia Index on the Residential External Walls in Hot-Summer and Cold-Winter Areas. In *Applied Mechanics and Materials*, 368–370, 562–565.
- Yang, J. and Tang, J., 2017. Influence of envelope insulation materials on building energy consumption. *Front Energy*, **11**, 575–581.
- Zhang C., Hu M., Laclau B., Garnesson T., Yang X. and Tukker A., 2021. Energy-carbon-investment payback analysis of prefabricated envelope-cladding system for building energy renovation: Cases in Spain, the Netherlands, and Sweden, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **145**, 111077.

## Kolesterol Tayini için Biyosensör Geliştirilmesi

Zikriye Özbek<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>University of Canakkale Onsekiz Mart, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering, Canakkale, 17100, Turkey

\*e-mail: zikriye@comu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9112-1478

The Arrival date:13.05.2023 ; Date of Acceptance: 24.05.2023

### Öz

Bu çalışmada, kolesterol amperometrik tayini için Prusya mavisi (PB) temelli amperometrik biyosensörler hazırlandı. Bu amaçla, jelatin ve glütaraldehit içeren ortam kullanılarak çapraz bağlama tekniği ile PB ve kolesterol oksidaz (CO<sub>x</sub>) enzimi screen-printed elektrotların (SPE) yüzeyine immobilize edildi. SPE/PB/CO<sub>x</sub> elektrotların kolesterol tayini için uygun oldukları gözlemlendi ve optimizasyon çalışmaları bu enzim elektrotları kullanılarak yapıldı. SPE/PB/CO<sub>x</sub> enzim elektrodu için optimum jelatin miktarı, glütaraldehit oranı, PB derişimi, tampon cinsi, tampon derişimi, sırasıyla fosfat tamponu; 0,002 g, % 0,5, 0,02 M, 0,05 M; pH:7,5 olarak belirlendi. Enzim elektrodun, kolesterol için doğrusal çalışma aralığı  $2 \times 10^{-6}$ - $2 \times 10^{-5}$  M, gözlenebilir sınıırı  $2 \times 10^{-6}$  M, cevap süresi 50 s ve raf ömrü yaklaşık bir ay olarak bulundu. SPE/PB/CO<sub>x</sub> kolesterol biyosensörü hazırlanması optimizasyonu başarılı bir şekilde elde edildi.

### Anahtar Kelimeler

Amperometri;  
Biyosensör; Enzim elektrot; Kolesterol.

## Development of Biosensors for Cholesterol Determination

### Abstract

In this study, for the determination of cholesterol amperometric Prussian blue (PB) based amperometric biosensors were prepared. For this purpose, the cross-linking techniques using glutaraldehyde medium containing gelatin and PB and cholesterol oxidase (CO<sub>x</sub>) enzyme was immobilized on the surface of the screen-printed electrode. SPE / PB / CO<sub>x</sub> was observed that the electrodes are suitable for the determination of cholesterol and optimization study was performed using the enzyme electrodes. SPE / PB / CO<sub>x</sub> enzyme optimum amount of gelatin to the electrodes, glutaraldehyde ratio of concentration, buffer type, buffer concentration, respectively, in phosphate buffer; 0.002 g, 0.5%, 0.02 M, 0.05 M; pH was set at 7.5. The enzyme electrode linear operating range for cholesterol,  $2 \times 10^{-6}$  to  $2 \times 10^{-5}$  M, observed ability to limit  $2 \times 10^{-6}$  M, response time of 50 h and shelf-life was found to be about a month. Optimization of SPE/PB/CO<sub>x</sub> cholesterol biosensor preparation was successfully achieved.

### Keywords

Amperometry;  
Biosensor; Enzyme electrode; Cholesterol.

## 1. Giriş

Biyosensörler ilk olarak 1950'li yıllarda Clark'ın Cincinnati Hastanesinde (Ohio, ABD) ameliyat esnasında kanda bulunan O<sub>2</sub> derişimini kullandığı bir elektrotla takip etmesi ile ortaya çıkmıştır. Clark ve Lyons Glukozoksidaz (GOD) enzimini O<sub>2</sub> elektronu ile birleştirerek kandaki mevcut glikoz miktarını 1962 yılında tespit edebildiler. Bu şekilde yeni bir analitik sistem oluştu ve bu sistem ile birlikte hem fiziksel sistemin (elektrot) tayin uyarlılığı hem de biyolojik kısmın yüksek spesifikliğini (enzim) birleştirilerek geniş spektrumlu bir uygulama olanağı meydana gelmiştir. Klasik elektrokimya sistemi ile sadece katyon ve anyonları ölçebilen sensörler, şu anda biyomateryalin de sisteme dahil olması ile birçok maddenin tayinine olanak tanımıştır. Biyosensörler; bakteri ve virüs teşhisi, tarım ve veterinerlik, biyomedikal sektör, maden işletmelerinde zehirli gaz analizleri gıda üretim ve analizi, ilaç analizi, askeri uygulamalar süreç kontrolü, çevre koruma ve kirlilik kontrolü, klinik teşhis, biyoreaktör kontrolü, tarım ve veterinerlik, endüstriyel atık su kontrolü gibi uygulamalarda kullanım alanı bulmaktadır. Gelişen teknolojik çalışmalarla biyosensörler kullunılarak hastanelerde, gıda alanında enzim biyosensörleri kullanılmaktadır. Ayrıca, gıdalardaki yabancı maddeler gibi tazelik ve aroma analizindeki karışık parametreler için de biyosensörler kullanılabilir. Uyuşturucu ile mücadelede ve ilaçların kötü amaçla kullanımı gibi konularda biyosensörler kullanılabilmektedir (Telefoncu, 1999).

1975'ten itibaren kalorimetrik tayinle serumdaki serbest kolesterolün belirlenmesinde kolestrol enzimi kullanılır (Fujishiro vd. 2002; Singh vd. 2004; Isobe vd. 2003)

Serum içindeki toplam kolesterolün belirlenmesi klinik tespitler açısından önemlidir. Yüksek kolesterol miktarı çeşitli damarların duvarlarında toplanarak damarların kapanmasına, tiroit bezinin biraz çalışması sonucu tiroit bozukluğuna, şeker rahatsızlığına ve sarılığa neden olur (Coulombe vd., 2001).

Kolesterol oksidaz farklı mikroorganizmalardan saflaştırılarak elde edilen iki basamaklı bir enzimdir. Bu enzim merkezde iki reaksiyonu katalize eder. Kolesterolün ilk tepkimede yükseltgenmesini, ikinci tepkimede ise oluşan yükseltgenme ürününün kolesterol-4- en-3-on'a dönüşümünü oluşturur ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> açığa çıkar (Bailey vd. 1986; Nishiya vd. 1999). Amperometrik kolesterol biyoalgısı amacıyla polianilin film üzerine poli(stiren-ko-akrilik asit) manyetik mikroküreler ve kolesterol oksidaz enzimini kovalent olarak immobilize etmişlerdir. PANI/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/PSA-ChO<sub>x</sub> elektrodunun algılama özellikleri dönüşümlü voltametri ve kronoamperometri tekniklerini kullanılarak çalışılmıştır. Optimize edilmiş deney koşulları altında biyosensör geniş doğrusal çalışma aralığı 0.2-1.8 mM (R<sup>2</sup> =0.9901), düşük tayin sınırı (0.02 mM), kısa cevap süresi (5-10 s) gibi mükemmel özellikleri göstermiştir (Huy vd. 2013). Serum numunesindeki kolesterol miktarını belirlemek için kolesterol oksidaz enzimi, platin elektrot üzerinde oluşturulmuş poli(2-hidroksietilmetakrilat/polipirol) kompozit membranı içine tutuklanarak biyosensör geliştirilmiştir. Standart yöntemlerle, elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında 0.998'den büyük bir korelasyon elde edildiği belirtilmiştir (Brahim vd. 2001). Platin-/polipirol-polivinilsülfonat filmine kolesterol oksidaz enzimini hapsedme yöntemiyle immobilize edilmiştir. Kolesterol tespiti, oluşturdukları enzim bağlanmış elektrodun yüzey tabakasında meydana gelen

enzim reaksiyonu ile hidrojen peroksitin +0.4V'da yükseltgenmesi esas alınarak yapılmıştır. İmmobilize enzimin en uygun pH değerini 7.25 ve en uygun sıcaklık değerini 35 °C bulunmuştur (Yıldırımoglu, 2009). Amperometrik kolesterol biyosensörü geliştirmek amacıyla, genelde platin, altın ve karbon elektrot materyalleri polianilin, polipirol, poli(o-fenilendiamin), poli(vinilferrosenyum) gibi polimerik filmler ile kaplanmış ve bu modifiye elektrotlar üzerine çeşitli teknikler kullanarak kolesterol oksidaz enzimi tek başına ya da kolesterol esteraz enzimi ile birlikte immobilize edilmiştir (Singh vd. 2006a, Solanki vd. 2007a, Özer vd. 2007). Kolesterolün kandaki yüksek seviyeleri, kalp hastalıkları, yüksek tansiyon, damar sertliği, kronik kalp hastalıkları, beyin trombozu gibi hastalıklarla ilişkilidir. Bu sebepten, kanda kolesterolün hızlı ve kolay bir şekilde tayini, bu gibi durumların teşhisinde ve önlenmesinde oldukça önemlidir (Kumar vd. 2011, Basu vd. 2007). Genel olarak, kolesterolün tayini spektrofotometri üzerine temellenmektedir. Ancak, bu yöntem karışık işlemleri içerir ve her analizde pahalı enzimler kullanıldığı için yöntem maliyetlidir. Amperometrik enzim elektrotlar yüksek çalışma kararlılığına, seçiciliğe, hızlı cevaba ve düşük maliyete sahip olduklarından kolesterol tayini için spektrofotometrik yöntemlere önemli bir alternatiftir (Bokoch vd. 2001, Nishiya vd. 2008, Solanki vd. 2009).

Kolesterol tayininde günümüzde çeşitli kolorimetrik, polarografik, kromatografik, spektrofotometrik yöntemler kullanılmaktadır. Ancak bunlar genel olarak zaman alıcı ve pahalı sistemlerdir. Bu nedenle kolesterol derişiminin daha kısa sürede, daha düşük maliyetle daha doğru ölçüm yapan sistemlerin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında

kolesterol derişiminin daha hızlı ve daha ucuz ölçümüne olanak sağlayan SPE/PB/CO<sub>x</sub> modifiye biyosensör geliştirildi.

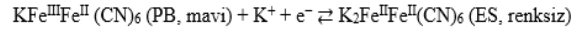
Bu çalışmada kolesterole duyarlı yeni bir Prusya mavisi esaslı amperometrik biyosensör hazırlandı. Bu amaç doğrultusunda çapraz bağlama yöntemi kullanılarak screen printed elektrodun yüzeyine kolestrol oksidaz enzimi immobilizasyonu sağlandı. Hazırlanan enzim elektrod kolestrol örneğine daldırıldı. Kolestrol tayini enzim reaksiyonları sonucu oluşan hidrojen peroksitin +0.65 V'da yükseltilmesi prensibine dayanılarak yapıldı. Hazırlanan biyosensörün en iyi çalışma koşulları belirlenmesi ve performansını etkileyen faktörlerin incelendi.

## **2. Materyal ve Metot**

SPE/PB/CO<sub>x</sub> elektrotların kolesterol tayini için kullanılan kolesterol, kolesterol oksidaz ve tüm çözeltiler Sigma Aldrich firması tarafından temin edilmiştir. Bu çalışmada, kolesterol tayini için prusya mavisi film temelli amperometrik enzim elektrotların hazırlanması amaçlandı. Bunun için, PB içeren çözeltiler kullanılarak hazır alınan SPE'lar üzerine, kolesterol oksidaz (CO<sub>x</sub>) enzimleri çapraz bağlama yöntemi ile immobilize edildi. Enzim elektrotların uygun çalışma şartları ve performans faktörleri yapılan çalışmalarla belirlendi.

PB olarak adlandırılan potasyum ferrik hekzasiyanoferrat ( $KFe^{III}Fe^{II}(CN)_6$ ), kararlı elektrokimyasal redoks davranışlar ve iyi elektrokromik performans gösteren bir elektrokromik malzemedir. Aşağıdaki denkleme göre mavi durumdan renksiz duruma değişen bir anodik renklendirme sergiler.



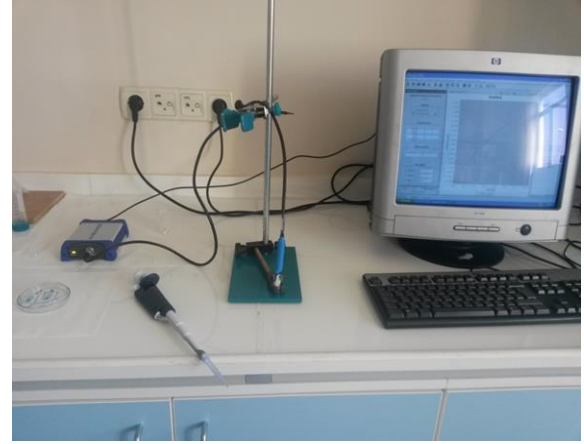


PB, biyosensörler, iyon seçici elektrotlar, batarya ve elektrokromik ekran gibi çeşitli uygulamalar için iletken tabakalar üzerine ince filmler olarak çöktürebilir. Renklendirme / ağartma süresi ve renklenme verimliliği gibi PB'nin elektrokromik özellikleri, uygulamalar için önemli bir husustur ve birçok araştırma bu elektrokromik özelliklerin geliştirilmesine odaklanmıştır (Lin vd. 2014).

Amperometrik çalışmalar Dropsens-stat400 elektrokimyasal analiz cihazı ve homemade-ev yapımı hücre standı ile birlikte gerçekleştirildi. Çalışmadaki çözeltilerin pH'ları ORION marka 912600 numaralı kombine cam pH elektrodu kullanılarak ORION 720A cihazı vasıtasıyla sağlandı. Yıkama işlemlerinin yapılmasında (Tip III kalitesinde) ve çözeltilerin (18.2 MΩ·cm @ 25 °C-Tip I kalitesinde) hazırlanmasında kullanılan su, Merk-Millipore marka ultra saf su sistemi ile elde edildi. Çözelti eklemeleri için Gilson marka mikro pipetler kullanıldı. Çözeltileri karıştırmak için çoklu manyetik karıştırıcı olarak Jeitech marka manyetik karıştırıcı ve IKA marka vortex kullanıldı. Kimyasalların tartılmasında Denver marka hassas terazi kullanıldı.

### 2.1 Elektrokimyasal Hücre ve Elektrotlar

Amperometrik ölçüm çalışmaları, kendi içerisinde bulunan çalışma elektrodu, referans elektrot ve karşıt elektrottan ibaret olan 4 mm çapında 0.12 cm<sup>2</sup> alanlı screen printed elektrot (SPE) ve Şekil 1' de verilen ölçme sistemi kullanılarak yapıldı.



Şekil 1. Dropsens ölçüm sistemi

### 2.2 Kullanılan Çözeltiler

Bu yöntemde Prusya mavisi ince film tek çözeltinin damlatılması ile kimyasal olarak SPE altaşları-substratları depozitlenmiştir. Çözeltilerden biri 0.1 M Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, diğeri ise 0.1 M K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] çözeltisidir. Kullanılan çözeltilerin hazırlanmasıyla ilgili hesaplar ayrıntıları ile aşağıda verilmiştir;

0.1 M (Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> kaplama çözeltisi: Öncelikle 3.998 g Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> bileşiği 100 mL su içerisinde çözülerek 0.1 M Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> çözeltisi hazırlanmıştır. Ardından aşağıda yazılan kimyasalların ultrasonik karıştırma ile çözünmesi sağlanarak kaplama çözeltisi elde edilmiştir.

15 ml 0.1 M Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> çözeltisi

90 ml saf su

0.5 g EDTA

10 ml HCl (3 M)

0.1 M K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] kaplama çözeltisi

Öncelikle 4.1234 g K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] bileşiği 100 mL su içerisinde çözülerek 0,1 M K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] çözeltisi hazırlanmıştır. Ardından aşağıda yazılan kimyasalların ultrasonik karıştırma ile çözünmesi sağlanarak kaplama çözeltisi elde edilmiştir.

15 ml 0,1 M  $K_4[Fe(CN)_6]$  çözeltisi

90 ml saf su

10 ml HCl (3 M)

Toplam fosfat derişimi 0.05 M olacak şekilde sodyum dihidrojenfosfat dihidrat ve disodyum monohidrojenfosfat heptahidrat'tan belirli oranlarda tartıldı ve saf suda çözüldü. Hazırlanan çözeltilerin pH'ları 0.10 M NaOH ve 0.10 M HCl çözeltileri ile birlikte pH değerleri ayarlandı. Ayrıca, optimum tampon derişimini belirlemek amacıyla, toplam fosfat derişimi 0.10 M; 0.15 M ve 0.20 M olan fosfat tamponları yukarıdaki ile aynı biçimde hazırlandı. Tampon çözeltiler kullanıldıktan sonra bozulmamaları için buzdolabında +4 °C'de saklandı.

Derişimi 0.05 M olan TRIS tampon çözeltisi hazırlamak amacıyla, gerekli miktarda tris(hidroksimetil)aminometan tartıldı ve pH değeri 1.0 M HCl çözeltisi kullanılarak istenilen pH değerine belirlendi. Ayrıca derişimi 0.10 M olan TRIS tampon çözeltiside yukarıdaki şekilde hazırlandı.

### 2.2.1 Hücre Ölçüm Çözeltisi

Amperometrik ölçüm çalışmaları için kullanacağımız hücre içerisine (toplam hücre hacmi 1 mL) 0.05 M pH:7.5 fosfat tamponundan 885 µL, 0.1 M potasyum klorür (KCl) çözeltisinden 100 µL, 5 mM potasyum ferrosiyanit ( $K_4[Fe(CN)_6]$ ) çözeltisinden 10 µL ve 5 mM potasyum ferrisiyonit ( $K_3[Fe(CN)_6]$ ) çözeltisinden 5 µL alınarak koyulması ile hücre ölçüm çözeltisi hazırlandı.

Amperometrik ölçümler için kullandığımız SPE ölçüm hücresi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Amperometrik SPE ölçüm hücresi

### 2.2.2 Enzim Çözeltisi

Kolesterol oksidaz ( $COx-5$  U/mg) enzimi, derişimi 1 mg/mL olacak biçimde 0.05 M pH 7.5 fosfat tamponunda çözüldü. Hazırlanan enzim çözeltisi kullanılmadığında -20 °C'ta buzdolabında saklandı.

### 2.2.3 Kolesterol Çözeltisi

Derişimi  $2.0 \times 10^{-5}$  M stok kolesterol çözeltisi hazırlamak için, metil  $\beta$ -siklodekstrin içeren suda çözünebilir kolesterolün uygun miktarda tartıldı ve saf suda çözülme işlemi gerçekleştirildi. Aynı şekilde stok kolesterol çözeltisi kullanılmadığı zaman +4 °C'de buzdolabında korundu.

### 2.2.4 Girişim Çalışmalarında Kullanılan Çözeltiler

Serumda olabilecek elektroaktif farklı çeşitlerin enzim elektrodun yanıtına etkisinin bulunmasında kullanılacak çözeltiler aşağıda belirtildiği şekillerde hazırlandı:

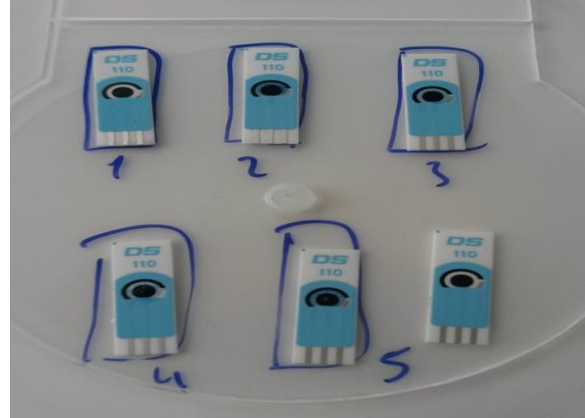
L-Askorbik asit, glukoz ve üre stok çözeltileri her birinin derişimleri  $1.0 \times 10^{-2}$  M olarak katı malzemelerin tek tek saf suda çözülmesi ile hazırlandı.

Girişim çalışmalarında, yukarıda verilen maddelerin fizyolojik konsantrasyonu, stok çözeltilerin belli oranlarının elektrokimyasal hücreye eklenmesiyle sağlandı.

### 2.3 Kolesterol Tayini için Enzim Elektrotların Hazırlanması

Kolesterol tayininde kullanılacak enzim elektrotların hazırlanması için, satın alınan SPE elektroda kolesterol oksidaz ( $CO_x$ ) enzimi immobilize edildi. Bunun için;

Belirli miktarda jelatin tartılarak ependorf tüp içerisine konuldu. Üzerine 50  $\mu$ L 0.05 M pH:7.5 fosfat tamponu ilave edildi. 15 dk beklenildi. Sıcak su içerisinde 1-2 s bekletilerek jelatin şişirildi ve vortekslendi. Şişirilen jelatin çözeltisinden 11.5  $\mu$ L alınarak farklı bir ependorf tüp içerisine koyuldu. Belli ünite de enzim içeren enzim çözeltisinden 4  $\mu$ L alınarak jelatin bulunan ependorf tüpe koyuldu. Bu çözeltinin üzerine 2.5  $\mu$ L PB çözeltisi eklendi. Üç çözeltinin olduğu ependorf tüp içerisine 2  $\mu$ L % 25'lik glutaraldehit (GA) ilave edilerek iyice karışması sağlandı. Hazırlanan bu çözeltiden 10  $\mu$ L alınarak screen printed elektrot yüzeyine enzim immobilizasyonunun gerçekleşebilmesi için yarım saat oda sıcaklığında 3-4 saat buzdolabında +4  $^{\circ}C$  'de bekletildi. Hazırlanan enzim elektrot (Şekil 3) SPE/PB/ $CO_x$  olarak adlandırıldı.



Şekil 3. Hazırlanan enzim elektrotlar

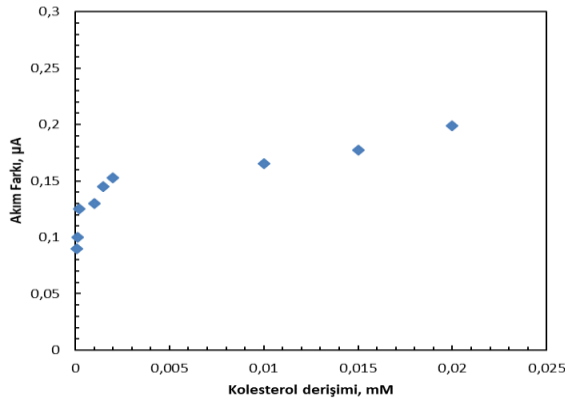
Hazırlanan SPE/PB/ $CO_x$  enzim elektrotların kolesterole duyarlıklarını belirlemek için enzim elektrotlar ayrı ayrı hazırladığımız hücre çözeltisi içerisine farklı potansiyelde kararlı hal akımları elde edilene kadar tutuldu. Çalışma potansiyel değeri belirlendi. Ayrıca, çalışma ortamına belli derişimde stok kolesterol çözeltisinden ilaveler yapıldı ve her ilave sonrası amperometrik cevaplar belirlendi. Kolesterol derişimine karşı hesaplanan akım farkları grafiğe geçirilerek enzim elektrotların çalışılan derişimlerde kolesterole duyarlıkları ve doğrusal çalışma aralıkları bulundu.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, kolesterol tayini için enzim elektrot hazırlamak amacıyla SPE kaplı elektrotlar üzerine,  $CO_x$  enzimi immobilize edildi. Bu çalışmada hazırlanan enzim elektrodun cevabına jelatin miktarı, GA oranı, tampon cinsi, tampon derişimi gibi çeşitli parametrelerin etkisi, enzim elektrodun kolesterole duyarlığı, cevap süresi, tekrar kullanılabilirliği ve üretilebilirliği, ömrü gibi performans faktörleri incelendi. Ayrıca, hazırlanan enzim elektrodun serumda bulunabilecek ve girişim yapabilecek türlere cevabı belirlendi.

### 3.1 SPE/PB/CO<sub>x</sub> Enzim Elektrotların Kolesterolle Duyarlılığı

Kolesterol enzim elektrodu hazırlamak amacıyla, SPE elektroda, CO<sub>x</sub> enzimi immobilize edildi. Elde edilen SPE/PB/CO<sub>x</sub> enzim elektrodu, hücre ölçüm çözeltisi içerisinde +0.65 V'da kararlı hal akımları elde edilme süresince bekletildi ve daha sonra belirlenen konsantrasyonda kolesterol çözeltisi eklenerek amperometrik cevaplar belirlendi. Elde edilen cevap akımları kolesterol derişimine karşın grafiğe geçirildi (Şekil 4).



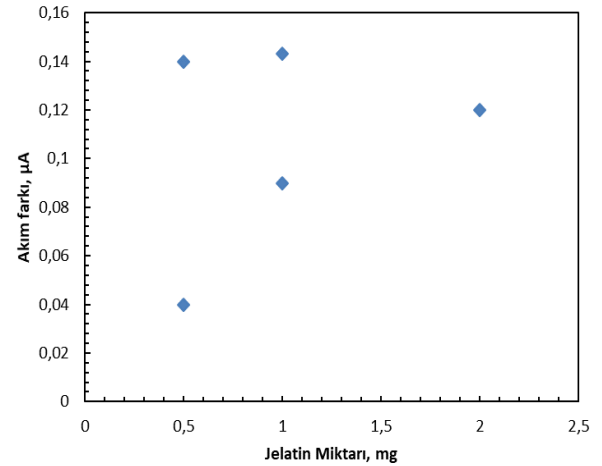
**Şekil 4.** SPE/PB/CO<sub>x</sub> enzim elektrodunun kolesterolle duyarlılığı (0.05 M pH 7.5 fosfat tamponu, +0.65 V, oda sıcaklığı)

### 3.2 SPE/PB/CO<sub>x</sub> Enzim Elektrodunun Optimum Şartları ve Performans Faktörleri

#### 3.2.1 Jelatin Miktarı

SPE/PB/CO<sub>x</sub> enzim elektrodunun hazırlanan biyosensörün amperometrik cevap akımı üzerine jelatin miktarının etkisini araştırmak amacıyla jelatin 0.0005; 0.001; 0.002 g olarak farklı kütelerde hazırlandı. Bu beş farklı jelatin miktarları ile SPE/PB/CO<sub>x</sub> enzim elektroduları hazırlandı. Hücre içine hazırladığımız çözelti 1 mL eklendi. Biyosensör bu çözeltide +0.65 V'da dengeye getirildi. Sonra pH'sı 7.5 olan fosfat

tampon çözeltiyle hazırlanan kolesterol çözeltisinden, çalışma ortamındaki kolesterol konsantrasyonu  $2 \times 10^{-5}$  M olacak şekilde çalışma kabına eklendi. Daha sonra +0,65 V sabit potansiyelde amperometrik cevap akımı ölçüldü. Benzer işlevler farklı jelatin miktarları ve  $2 \times 10^{-5}$  M kolesterol çözeltileri için de yinelenildi. Farklı jelatin miktarlardaki her bir elektrot için +0.65 V sabit potansiyelde belirlenen amperometrik yanıt akımları jelatin miktarına karşın grafiğe (Şekil 5) geçirildi ve grafikten biyosensörün en iyi oranda çalışma jelatin miktarı 2 mg olarak belirlendi.

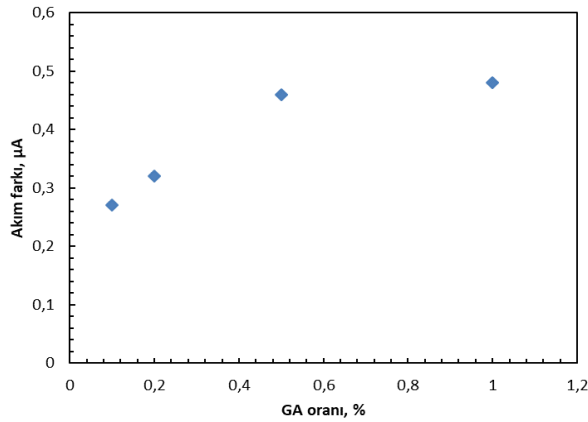


**Şekil 5.** SPE/PB/CO<sub>x</sub> enzim elektrodu cevabı üzerine jelatin miktarının etkisi (0.05 M pH 7.5 fosfat tamponu, +0.65 V, oda sıcaklığı)

#### 3.2.3 Gluteraldehit (GA) Oranı

Hazırlanan biyosensörün amperometrik cevap akımı üzerine GA oranının etkisini incelemek için GA % 1; % 0.5; % 0.2; % 0.1 olarak farklı oranlarda hazırlandı. Bu 4 farklı GA miktarları ile SPE/PB/CO<sub>x</sub> enzim elektroduları hazırlandı. Hücre içine hazırladığımız çözelti 1 mL ilave edildi. Biyosensör bu çözeltide +0.65 V'da denge sağlandı. Sonra ölçüm hücresindeki kolesterol

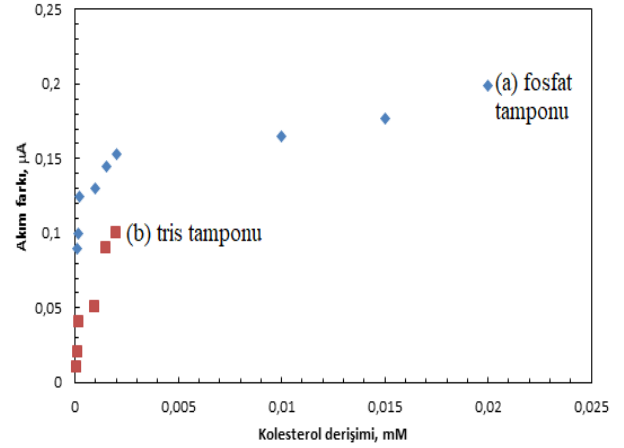
derişimi  $2 \times 10^{-5}$  M olacak şekilde hücreye ilave edildi. Daha sonra +0.65 V değişmeyen potansiyelde amperometrik cevap akımı belirlendi. Benzer işlemler farklı GA miktarları ve  $2 \times 10^{-5}$  M kolesterol çözeltileri için de tekrarlandı. Farklı jelatin miktarlardaki her bir elektrot için +0.65 V sabit potansiyelde ölçülen amperometrik cevap akımları GA miktarına karşı grafiğe (Şekil 6) geçirildi ve grafikten biyosensörün optimum çalışma GA miktarı % 0.5 olarak belirlendi.



**Şekil 6.** SPE/PB/CO<sub>x</sub> enzim elektrodu cevabı üzerine GA miktarının etkisi (0.05 M pH 7.5 fosfat tamponu, +0.65 V, oda sıcaklığı)

### 3.2.4 Tampon Cinsi

Enzim elektrotlarda ortamda bulunan türlerin elektrot cevabına etkisinin önemli olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada tampon cinsinin de belirlenmesinin uygun olacağı düşünüldü. En uygun tampon cinsinin bulunması amacıyla, 0.05 M pH 7.5 fosfat ve TRIS tamponlarında SPE/PB/CO<sub>x</sub> enzim elektrodun belli derişimde kolesterol eklemeleriyle gözlenen amperometrik cevapları kolesterol konsantrasyonuna karşı grafiğe aktarıldı (Şekil 7 a ve b).



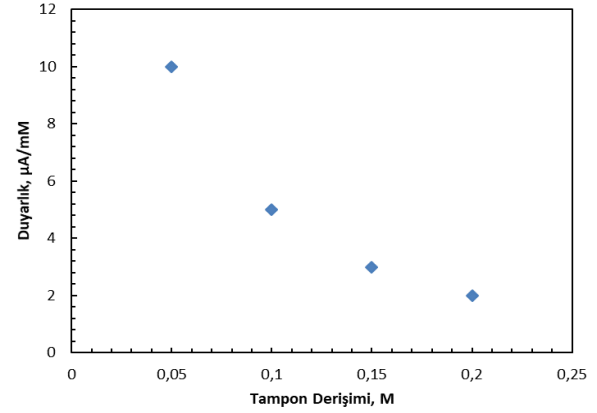
**Şekil 7.** SPE/PB/CO<sub>x</sub> enzim elektrodun cevabına tampon cinsinin etkisi (a) 0.05 M pH 7.5 fosfat tamponu, (b) 0.05 M pH 7.5 TRIS tamponu (+0.65 V, oda sıcaklığı)

Bu grafiklerden elde edilen duyarlık değerleri ve çalışma aralıkları karşılaştırıldığında, fosfat tamponu kullanıldığında enzim elektrodun kolesterole duyarlığının TRIS tamponu ile elde edilene göre yaklaşık 2 kat daha yüksek olduğu ve çalışma aralığının da daha geniş olduğu görüldü. Bu nedenle, daha sonraki deneylerde, çalışma tamponu olarak fosfat tamponu kullanıldı. Kolesterol tayini ile ilgili yapılan polimer temelli pek çok çalışmada çalışma tamponu olarak fosfat tamponu kullanıldığı görüldü (Singh vd. 2006a, Solanki vd. 2007a, Basu vd. 2007). TRIS tamponu kullanılarak elde edilen duyarlığın düşük olmasının nedeni, tam olarak açıklanamamakla birlikte, pH'yı ayarlamak için kullanılan HCl'den gelen Cl<sup>-</sup> iyonlarının etkisiyle prusya mavisi filmin iletkenliğinin azalmasından kaynaklandığı söylenebilir. Grafik incelendiğinde, fosfat tamponunda elde edilen duyarlığın TRIS tamponunda elde edilen duyarlıktan daha yüksek olduğu görüldü. Ayrıca, fosfat tamponunda nispeten daha geniş bir doğrusal çalışma aralığı elde edildi. Bu sebepten, daha

sonraki çalışmalar fosfat tamponu kullanılarak yapıldı. Kolesterol tayinine yönelik daha önceki çalışmalarda genellikle fosfat tamponu çalışma tamponu olarak kullanılmıştır (Shan vd. 2009, Kochana vd. 2008, Fan vd. 2007, Tembe vd. 2006, Rajesh vd. 2004, Vedrine vd. 2003).

### 3.2.5 Tampon Derişimi

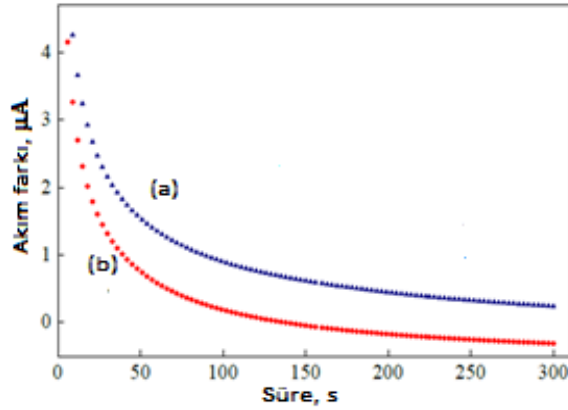
SPE/PB/CO<sub>x</sub> enzim elektrodun cevabına tampon derişiminin etkisini görmek ve uygun tampon derişimini belirlemek amacıyla, 0.05 M; 0.10 M; 0.15 M ve 0.20 M konsantrasyonlarında hazırlanan tamponlarda, SPE/PB/COX enzim elektrodunun kolesterol eklemelerine karşı amperometrik cevapları belirlendi ve elde edilen kalibrasyon grafiklerinden yararlanarak bulunan duyarlık değerleri tampon derişimine karşı grafiğe geçirildi (Şekil 8). Grafikten de görülebileceği üzere, enyüksek duyarlık 0.05 M tampon derişiminde elde edildi. Bu derişimin üstündeki fosfat derişimlerinde duyarlığın azaldığı görülmektedir. Bu sebepten, daha sonraki çalışmaların 0.05 M tampon derişiminde yapılmasının uygun olacağına karar verildi. Ayrıca, pek çok çalışmada, en uygun tampon derişimi olarak 0.05 M tampon derişiminin kullanıldığı görüldü (Singh vd. 2006a,b, Özer vd. 2007, Solanki vd. 2007a). Bu açıdan çalışmada elde edilen sonucun literatür bilgileriyle uyum içinde olduğu söylenebilir. Tampon kapasitesi düşük olması nedeniyle daha düşük tampon derişimlerinde çalışma yapılmadı.



**Şekil 8.** SPE/PB/COX enzim elektrodun cevabına tampon derişiminin etkisi (pH 7.5 fosfat tamponu, +0.65 V, oda sıcaklığı)

### 3.2.6 Cevap Süresi

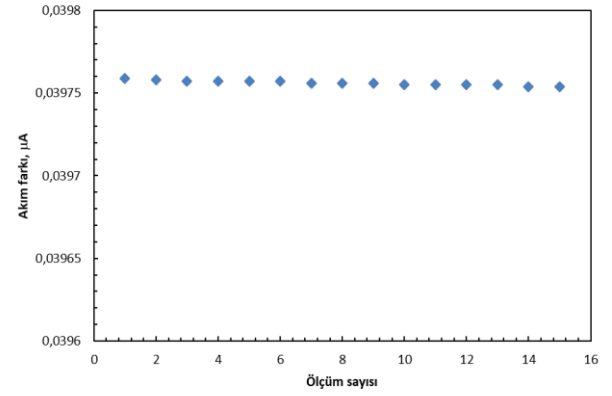
SPE/PB/CO<sub>x</sub> enzim elektrodun kolesterole cevabı,  $1.0 \times 10^{-6}$  M ve  $1.0 \times 10^{-5}$  M olan iki farklı kolesterol konsantrasyonu için belirlendi. Zamana karşı cevap akımları grafiğe geçirildiğinde iki değişik konsantrasyonda eğrilerin birbiriyle aynı oranda gittiği gözlemlendi (Şekil 9). Enzim elektrodun cevaplarının belirlenmesi için akımların neredeyse sabit kaldığı 150 s'lik sürelerin alınabileceği düşünöldü. Ancak, bütün ölçümler 50 s sonunda yapıldığında da uygun kalibrasyon eğrileri bulunduğundan çalışmalar 50 s sonraki akımlar belirlenerek yapıldı. Çünkü bir analizin doğru bir şekilde ve oldukça kısa bir sürede yapılması (özellikle klinik uygulamalarda) oldukça önemlidir. Literatürde cevap süresi 30 s (Solanki vd. 2007a), 40 s (Singh vd. 2006b), 150 s (Türkaskan vd. 2009), 240 s (Singh vd. 2006a), 2 dakika (Chauan vd. 2011) olan çalışmalar vardır. Bu çalışmada belirlenen cevap süresi, makul ve kısa sürede analiz yapmak için uygun bir değerdir.



**Şekil 9.** SPE/PB/CO<sub>x</sub> enzim elektrodunun cevap süresi. (a)  $1.0 \times 10^{-5}$  M kolesterol ve (b)  $1.0 \times 10^{-6}$  M kolesterol (0,05 M pH 7.5 fosfat tamponu, +0.65 V, oda sıcaklığı)

### 3.2.7 Tekrar Kullanılabilirlik ve Tekrar Üretilebilirlik

Yapılan deneyler sonunda belirlenen amperometrik cevap akımları ölçme sayısına karşı grafiğe geçirildi (Şekil 10). Enzim elektrodunun 15 ölçüm sonucunda başlangıç aktivitesinin yaklaşık %89.9'unu koruduğu gözlenmiştir. Biyosensörün belli süre zarfında aktivitesinin pek değişmemesi kullanılan immobilizasyon metodunun uygun ve kullanılabilirliğini göstermektedir. Tekrarlanabilirlik biyosensörler için etkili olup hazırlanan biyosensörle defalarca deneme yapabileceğimizi göstermektedir. Devamlı yaptığımız analizlerde tek ölçüme kullanılan kitler ekonomik bakımdan pahalı olduklarından dolayı bu şekilde hazırlanan bir biyosensör daha uygun ve kullanışlıdır. Bulunan ölçüm sonuçları literatür ile kıyaslandığında hazırlanan biyosensörün tekrar kullanılabilirliğinin mümkün olabileceği sonucuna varılabilir (Singh vd. 2009, Kumar vd. 2011, Wang vd. 1999) .



**Şekil 10.** Enzim elektrodunun tekrar kullanılabilirliğinin incelenmesi (0,05 M pH=7.5 fosfat tamponu, 25 °C)

### 3.2.8 Girişim Yapan Maddeler

Çalışma elektroduna yüksek bir anodik potansiyel uygulanmasıyla kanda bulunan bazı maddeler (ürik asit, L-askorbik asit, glukoz vb.) yükseltgenirler. Bu durum amperometrik cevap akımının artmasına dolayısıyla kolesterolün, kandaki gerçek değerinde daha yüksek bir değerde bulunmasına sebep olur. Hazırlanan biyosensörün amperometrik cevap akımına L-askorbik asit, glukoz girişim etkileri incelendi ve bulunan veriler çizelge 1'de verildi.

**Çizelge 1.** Biyosensör üzerine girişim yapan maddeler ve girişim etkileri

Girişim Yapan Maddeler	Çalışılan derişimler (M)	Toplam cevap akımı (µA)	Girişim yapan maddenin cevap akımı (µA)	Girişim yapan maddenin cevap akımının Toplam akıma oranı (%)
Glukoz	$10^{-2}$	0,0636	0,0162	25,5
Glukoz	$5 \times 10^{-3}$	0,0486	0,0064	13,2
L-Askorbik Asit	$10^{-4}$ (Kanda)	0,7240	0,6150	84,9
L-Askorbik Asit	$10^{-5}$	0,4240	0,1910	45,0
L-Askorbik Asit	$10^{-6}$	0,0353	0,0107	30,3

#### 4. Sonuçlar

Sonuç olarak bu çalışmada hazırlanan SPE/PB/CO<sub>x</sub> kolesterol biyosensörünün; Kolesterol derişimi doğrusal çalışma aralığı  $2 \times 10^{-6}$ - $2 \times 10^{-5}$  mM olarak bulundu. Bu aralıkta doğrusallığın çok iyi olduğu ve bu aralığın kantitatif analizlerde kullanılabileceği söylenebilir. En iyi çalışma jelatin miktarı 2 mg olarak bulundu. En iyi GA oranı % 0.5 olarak bulundu. En iyi çalışma sıcaklığı 25 °C olarak alındı. Kolesterol biyosensörün cevap verme süresi 50 s olarak bulundu. En iyi çalışma tamponu fosfat tamponu 0.05 M pH:7.5 olarak bulundu. Tekrar kullanılabilirliği iyidir (15 ölçme sonunda biyosensörün aktivitesini % 89.9 oranında koruduğu görülmüştür). Çalışmaların beklenen sonuçları elde edilmesi çalışmanın başarılı olduğunu göstermektedir. SPE/PB/CO<sub>x</sub> kolesterol biyosensörü hazırlanması optimizasyonu başarılı bir şekilde elde edilmiştir.

#### 5. References

- Bailey J.E., Ollis F.D. 1986. Biochemical Engineering Fundamentals 2nd ed. McGraw Hill International Editions, 984.
- Basu A. K., Chattopadhyay P., Roychoudhuri U., Chakraborty R. 2007. Development Of Cholesterol Biosensor Based On Immobilized Cholesterol Esterase And Cholesterol Oxidase On Oxygen Electrode For The Determination Of Total Cholesterol In Food Samples. Bioelectrochemistry, **70**: 375–379.
- Bokoch M.P., Devadoss A., Palencsar M.S., Burgess J.D. 2004. Steady-State Oxidation Of Cholesterol Catalyzed By Cholesterol Oxidase In Lipid Bilayer Membranes On Platinum Electrodes. Analytica Chimica Acta, **519**: 47-55.
- Brahim S., Narinesing D., Guiseppi-Elie A. 2001. Amperometric Determination Of Cholesterol In Serum Using Biosensor Of Cholesterol Oxidase Contained Within A Polypyrrole-hydrogel Membrane. Analytica Chimica Acta, **448**(1-2): 27-36.
- Chauhan N., Pundir C. S. 2011. Co-Immobilization Of Cholesterol Esterase, Cholesterol Oxidase And Peroxidase On Pvc Strip For Serum Cholesterol Determination. Anal Methods, **3** :1360–1365.
- Fan, Q., Shan, D., Xue, H., He, Y. and Cosnier, S. 2007. Amperometric phenol biosensor based on laponite clay-chitosan nanocomposite matrix. Biosensors and Bioelectronics, **22**, 816-821.
- Fujishiro K., Uchida H., Shimokawa K., Nakano M., Sano F., Ohta T., Kayahara N., Aisaka K., Uwajima T. 2002. Purification And Properties On A New Brevibacterium Sterolicum Cholesterol Oxidase Produce By E.Coli Mm294/Pnh10. FEMS Microbiology Letters, **215**: 243-248.
- Huy N.L., Thuy N.T., Binh N.H., Think N.N., Lam T.D. 2013. Covalent Immobilization Of Cholesterol Oxidase and Poly(styrene-co-acrylic acid) Magnetic Microspheres On Polyaniline Films For Amperometric Cholesterol Biosensing. Anal Methods, **5**(6): 1392-1398.
- Isoke K., Shoji K., Nakanishi Y., Yokoe M., Wakao N. 2003. Purification and Some Properties Of Cholesterol Oxidase Stable In Detergents From F-Probacterium Y-134. Journal of Bioscience and Bioengineering, **95**(3): 257-263.
- Kochana, J., Nowak, P., Jarosz-Wilkolazka, A.J., Bioeron, M. 2008. Tyrosinase/laccase bienzyme biosensor for amperometric determination of phenolic compounds. Microchemical Journal, **89**, 171-174.



- Kumar S., Singh J., Agrawal V. V., Malhotra B. D. 2011. Biocompatible Self-Assembled Monolayer Platform Based On (3-Glycidoxypropyl)Trimethoxysilane For Total Cholesterol Estimation. *Anal Methods*, **3**:2237–2245.
- Lin C.L, Liao L.C. 2014. Preparation And Characterization Of Micropatterned Prussian Blue Thin Films With Enhanced Electrochromic Properties. *Surface and Coatings Technology*, **259**, B, 330-334.
- Nishiya Y., Hirayama N. 1999. Alteration Of Substrate Affinity Of Streptomyces Cholesterol Oxidase Application To The Rate Assay Of Cholesterol Serum. *Clinica Chimica Acta*, **287**: 111-122.
- Özer B.C., Özyörük H., Çelebi S.S., Yıldız A. 2007. Amperometric Enzyme Electrode For Free Cholesterol Determination Prepared With Cholesterol Oxidase Immobilized In Poly (Vinylferrocenium) Film. *Enzyme and Microbial Technology*, **40**(2): 262-265.
- Rajesh, Takashima, W. and Kaneto, K. 2004. Amperometric phenol biosensor based on covalent immobilization of tyrosinase onto an electrochemically prepared novel copolymer poly(N-3-aminopropyl pyrrole-co-pyrrole) film. *Sensors and Actuators B*, **102**, 271-277.
- Shan, D., Zhang, J., Xue, H.G., Zhang, Y.C., Cosnier, S. and Ding, S.N. 2009. Polycrystalline bismuth oxide films for development of amperometric biosensor. *Biosensors and Bioelectronics*, **24**, 2671-3676.
- Singh K., Basu T., Solanki P.R., Malhotra B.D. 2009. Poly (Pyrrole-Co-N-Methyl Pyrrole) For Application To Cholesterol Sensor. *Journal Of Materials Science*, **44**: 954–961.
- Singh S., Solanki P.R., Pandey M.K., Malhotra B.D. 2006a. Covalent Immobilization Of Cholesterol Esterase And Cholesterol Oxidase On Polyaniline Films For Application To Cholesterol Biosensor. *Analytica Chimica Acta*, **568**(1-2 ): 126-132.
- Singh S., Chaubey A., Malhotra B.D. 2004. Amperometric Cholesterol Biosensor Based On Immobilized Cholesterol Esterase And Cholesterol Oxidase On Conduction Polypyrrole Films. *Analytica Chimica Acta*, **502**: 229-234.
- Solanki P.R., Arya S.K., Singh S.P., Pandey M.K., Malhotra B.D. 2007a. Application Of Electrochemically Prepared Poly-N-Methylpyrrole-P-Toluene Sulphonate Films To Cholesterol Biosensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, **123**(2): 829-839.
- Yıldırımoglu F. 2009. Kolesterol Tayini İçin Yeni Bir Biyosensör Hazırlanması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Türkiye.
- Telefoncu A. 1999. Biyoreseptör İmmobilizasyonu, Biyosensörler. *Biyokimya Lisans Üstü Yazokulu*. 42-61.
- Tembe, S., Karve, M., Inamdar, S., Haram, S., Melo, J. and D'Souza, S. 2006. Development of electrochemical biosensor based on tyrosinase immobilized in composite biopolymeric film. *Analytical Biochemistry*, **349**, 72-77.
- Türkarıslan Ö., Kayahan S.K., Toppare L. 2009. Poly(Pyrrole) Versus Poly(3,4-Ethylenedioxythiophene): Amperometric Cholesterol Biosensor Matrices. *J Solid State Electrochem*, **13**: 657–663.
- Vérdine, C., Fabiano, S. and Tran-Minh, C. 2003. Amperometric tyrosinase based biosensor using an electrogenerated polythiophene film as an entrapment support. *Talanta*, **59**, 535-544.
- Wang H., Mu S. 1999. Bioelectrochemical Characteristics Of Cholesterol Immobilized In A Polyaniline Film. *Sensors and Actuators B: Chemical*, **56**(1-2): 22-30.

## Derin öğrenme tabanlı Elektrikli Ev Aletleri Veri Setinin Sınıflandırılması

Gürkan KÜÇÜKYILDIZ\*

<sup>1</sup>Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Turkey  
\*e-mail: [gurkan.kucukyildiz@usak.edu.tr](mailto:gurkan.kucukyildiz@usak.edu.tr), ORCID: 0000-0003-2744-0666

Geliş Tarihi:27.04.2023 ; Kabul Tarihi:02.06.2023

### Öz

#### Anahtar kelimeler

LSTM, Bi-LSTM, ev aletleri, akım/gerilim, genetik algoritma

Elektriğe bağlı olan her ev aletinin akım/gerilim karakteristiği farklı olduğundan, bu cihazların her birinin şebekeden çektiği gücün özelliği farklı olmaktadır. Bu nedenle şebekeye bağlı olan cihazın tipinin tespiti cihazın şebekeden çektiği harmoniğin tespit edilmesinde ve de düzeltilmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu çalışma kapsamında farklı derin öğrenme teknikleri kullanılarak "ACS-F2 Elektrikli Ev Aletleri Veri Seti" üzerinde sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. ACS-F2 veri setinde toplamda 15 farklı sınıf için 225 cihaz bulunmasına karşın, çalışma kapsamında yapılan ön işlemler ile veri setindeki sınıf sayısı 14'e indirilmiştir. Sonrasında LSTM, FeedForwardNet, çift yönlü LSTM( Bi-LSTM) ve parametreleri genetik algoritma tarafından optimize edilmiş Bi-LSTM kullanılarak sınıflandırma yapılarak sınıflandırıcının performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında parametreleri optimize edilmiş sınıflandırıcının diğer yöntemlerden daha başarılı sonuçlar elde ettiği gözlenmiştir.

## Classification of Electrical Appliance Devices Using –Bi-LSTM and Genetic Algorithm

### Abstract

#### Keywords

LSTM;Bi-LSTM; Electrical Appliances; Current/voltage; Genetic Algorithm.

Since the current/voltage characteristics of each electrical appliance are different, the power consumption of devices are specific. Therefore, determining the type of electrical appliance connected to the network is crucial for the detection and correction of the device based harmonics. In this study, the classification of electrical appliances is carried out on the "ACS-F2 Electrical Appliances Dataset" using different deep learning algorithms. Although there are 225 devices for 15 different classes in the ACS-F2 data set, the number of classes in the data set has been reduced to 14 with the pre-processing step. The LSTM, FeedForwardNet, Bi-LSTM and Ga+Bi-LSTM, models are then built to classify electrical appliances. It is observed that the GA+Bi-LSTM classifier, which has %94 classification accuracy, overcomes among the models.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Günümüzde elektrik enerjisine bağlı olan cihaz sayısı ve buna bağlı olarak da enerji ihtiyacı gittikçe artmaktadır. Bu cihazlar arasında elektrikli ev aletleri daha az enerji tüketmesine karşın toplamda daha fazla sayıda olduğundan dolayı, bu cihazların enerji karakteristiğinin gözlenmesi ve bu karakteristiğin belirlenmesi enerji tüketimlerinin azaltılmasında önemlidir. Bu sayede hem enerji

verimliliği (cihazların normalden fazla kullanılmasının tespiti) sağlanabileceği gibi hem de cihazlardaki arızaların tespiti sağlanabilir (Howell 2007, Patel et al. 2007, Hart 1997, Kuruppu and. Kulatunga 2012).

Elektrikli cihazların yük karakteristikleri V<sub>rm</sub>, I<sub>rms</sub>, aktif güç, reaktif güç ve görünür güç gibi parametreler kullanılarak belirlenmektedir. Bu bağlamda faz açısı elektrikli cihazların yük

karakteristiğinin belirlenmesinde en önemli parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrikli cihazlar, faz açısına göre rezistif, kapasitif ve endüktif olarak sınıflandırılmaktadır. Su ısıtıcıları gibi elektrikli ısıtıcılar rezistif bir davranış gösterirken, indüksiyon motorları ve floresan lambalar endüktif, tekrar şarj edilebilen bataryalar da kapasitif davranış göstermektedir. Birçok durumda elektrikli cihazlar aktif ve reaktif güç değerleri kullanılarak birbirinden ayrılabilir (Armel et al. 2013). Ölçümler genellikle binaların/ evlerin giriş noktasından (ana giriş noktasından) bir akıllı sayaç yardımıyla yapılmasına karşın bu yöntem her bir cihazın akım gerilim karakteristiği farklı olduğundan dolayı doğru bir yöntem değildir. Bunun yerine her bir cihazın akım/gerilim karakteristiğinin belirlenmesi gerekmektedir.

Ridi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada elektrikli ev aletlerinin karakteristiklerini belirlemek için birçok farklı elektrikli ev aletlerinden veri toplayıp elde ettikleri veri setini ACS-F2 ismiyle paylaşmışlardır (Ridi et al. 2014). Yazarlar veri setini elde ederken cihazların normal çalışma koşullarında olmasına özellikle dikkat etmişlerdir. Yazarlar verileri cihazlardan toplarken aşağıdaki rutinleri özellikle uygulamışlardır.

**Mekanik Fanlar :** Fanlar üç farklı çalışma moduna iken (kesim, bekleme modu ve çalışma modu) veriler toplanmıştır. Çalışma modunda veriler toplanırken mekanik fanların bütün hızlarda dönmesi sağlanmıştır.

**Elektrikli Su Isıtıcıları :** İçerisinde farklı seviyede su eklenerek çalıştırılmış ve veriler bu şekilde toplanmıştır.

**Monitörler:** Monitörlerden veriler toplanırken her biri farklı cihazlara (masa üstü bilgisayar, laptop) bağlanmıştır. Farklı cihazlardaki bağlı olan monitörlerden veriler toplanırken, kullanıcıların doğal davranışları istenmiş ve de veriler doğal bir şekilde toplanmıştır. Buna ek olarak ekran parlaklığının değişiminin etkisi de alınan verisetinde incelenmiştir.

**Traş Makineleri:** Bu cihazlardan veriler toplanırken bütün modlar (çalışma modu, bekleme modu) göz önüne alınmıştır. Çalışma modunda ise bıçakların bütün dönüş hızları ve tork değerleri göz önüne alınarak veriler toplanmıştır.

Emir ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ACS-F2 veriseti üzerinde rastgele orman, Bayes sınıflandırıcı ve de Hoeffding ağacı sınıflandırma algoritması olmak üzere üç farklı sınıflandırma algoritması denemişlerdir (Emir et. al 2016). Yazarlar öz-nitelik olarak gücün, faz açısının, akımın istatistiksel parametrelerini (standart sapma, maximum ve minimum değerleri, basıklık, çarpıklık) kullanmışlardır. Yazarlar yapılan çalışmada eğitim veri seti üzerinde %93.67 doğruluk elde etmelerine karşın, test veri seti üzerinde elde ettikleri doğruluk %68.67 seviyesinde kalmıştır. Samira ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ACS-F2 veri setinin sınıflandırılması için Rastgele orman, k-NN, SVM ve GMM modellerini kullanmışlardır (Samira and Rammohan 2018). Yazarlar dört farklı senaryoya göre her bir modelin elde ettiği doğruluk seviyesini karşılaştırmışlardır. Yazarlar rastgele orman algoritmasının %75.65 ile en yüksek doğruluğu elde ettiğini belirtmişlerdir.

Long Short Term Memory (LSTM) yapıları Recurrent Neural Network(RNN)'lerin özelleştirilmiş bir hali olarak ilk olarak 1997 yılında Hochreiter tarafından önerilmiştir (Hochreiter and Jurrgen 1997). O günden sonra LSTM'ler esnek yapısı sayesinde zaman serisi tahminleme başta olmak üzere, birçok farklı sınıflandırma algoritmasında başarılı bir şekilde kullanılmıştır (Pulwer and Lyu, 2017). Fakat LSTM'lerin parametrelerinin ayarlanması da önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Genellikle probleme göre değişmekle beraber, bu parametrelerin optimal bir şekilde belirlenmesi bir optimizasyon problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Çift yönlü LSTM'ler (Bi-LSTM) de başarı üstünlükleri nedeniyle birçok farklı alanda kullanılmıştır (Jiajun Li et. al 2022).

Bu çalışma kapsamında, ACS-F2 veri seti kullanılarak elektrikli ev aletinin sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, öncelikli olarak veriler üzerinde bir ön-eleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu ön-eleme işlemi sonucunda hatalı ölçüm olduğu belirlenen veriler elenerek veri setinden silinmiştir. Sonrasında, genetik algoritma tarafından optimize edilmiş Bi-LSTM, Bi-LSTM, LSTM ve Feed-Forward NET olmak üzere dört farklı sınıflandırıcı kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen Genetik algoritma

destekli Bi-LSTM modelinin her bir sınıf için %85 üzerinde bir doğruluk elde ettiği gözlenmiştir. Öte yandan diğer sınıflandırıcıların ortalama doğruluğu sırasıyla %81, %77, %33 olarak hesaplanmıştır. Geliştirilen GA destekli Bi-LSTM sınıflandırıcının elde ettiği sonuçlar, istatistiksel olarak literatürde yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılmış ve literatürde yapılan çalışmalardan daha üstün olduğu gözlenmiştir. Geliştirilen bütün algoritmalar GPU desteği olan bir bilgisayar ile MATLAB ortamında geliştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1 Veri Kümesi ve Ön İşlemler

Bu çalışma kapsamında “ACS-F2 Elektrikli Ev Aletleri Veri Seti”den elde edilmiştir. ACS-F2 veri seti verilen bağlantıdan .xml uzantılı olarak indirilebilir. (<https://icosys.ch/acs-f2>) Veri setinde toplamda 15 farklı sınıf için 225 farklı cihazdan örnekler toplanmıştır. Bu 15 sınıf sırasıyla: Kahve makinası, bilgisayar, vantilatör, buzdolabı, ses sistemi, su ısıtıcı, floresan lamba, akkor lamba, laptop, mikrodalga, cep telefonu, monitör, yazıcı, traş makinası, televizyon olarak belirlenmiştir.

Bu veri setinde geliştiriciler tarafından temel frekans (fe), faz açısı, görünür güç (S), reaktif güç (Q), akım ve gerilimlerin RMS değerleri cihazlardan 100 ms’lik periyotlarla toplanmıştır. Sonrasında bu toplanan değerler ile altı elemanlı öznitelik vektörleri oluşturulmuştur. Bu çalışma kapsamında .xml formatındaki bu veriler bir matris haline getirilerek MATLAB ortamında işlenmiştir. Matrisin son sütunlarında cihazın gerçek sınıf değeri tutulmuştur. Bu sayede elde edilen veri setinin boyutları 161108\*7 olmuştur.

Veriseti üzerinde gerçekleştirilen incelemede ACS-F2 veri setinin birinci sütunda bulunan temel frekans değerinin alınan örnekler boyunca sabit kaldığı gözlenmiştir. Bu nedenle, bu frekans değeri hem sınıflandırıcıların performansını azaltmakta hem de hesapsal yükü arttırdığından dolayı öznitelik vektöründen çıkartılmıştır. Yine yapılan ön incelemelerde bazı hatalı ölçüm verileri tespit edilmiştir. Örneğin akımın (I) RMS değeri “0” olarak ölçülmüş olmasına karşın, bir görünür güç değerinin ( $S=V_{rms} * I_{rms}$ ) hesaplandığı gözlenmiştir. Bu nedenle hatalı ölçümleri tespit eden ve bu değerleri

öznitelik veri kümesinden elimine eden bir rutin geliştirilmiştir.

Yapılan ön işlemler sonucunda 6 numaralı sınıfa yani su ısıtıcısına ait veri kalmadığı gözlenmiştir. Bu nedenle sınıf sayısı 15’den 14’e düşürülmüştür. Bu ön işlemler sonucunda veri matrisinin boyutu 161108x6’dan 90495x5’e düşürülmüştür.

Detaylı bir şekilde açıklandığı gibi veri seti üzerinde gerçekleştirilen ön işlemlerden sonra veri setindeki bazı elemanlar elendiğinden dolayı her bir sınıftan eşit sayıda veri bulunmamaktadır. Bu nedenle, ön işlemlerden sonra, eğitim ve test verilerinin oranlarını belirlemek için her bir sınıfta toplamda kaç adet verinin kaldığı tespit edilmiş ve veri setinde dengesizlik olmaması için veri sayısının en az olduğu sınıfa göre eğitim ve test verilerinin sayısı belirlenmiştir. Tablo1’de yapılan ön işlemlerden sonra her bir sınıf için kalan veri sayısı verilmiştir.

**Tablo 1.** Ön eleme sonrasında sınıflarda kalan eleman sayıları

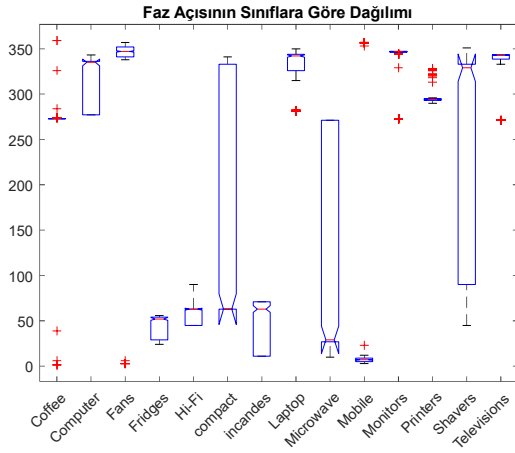
Sınıf	Eleman Sayısı
1	7580
2	10037
3	4466
4	4882
5	9789
6	0
7	6159
8	1776
9	10151
10	6020
11	625
12	9605
13	7074
14	1950
15	10391

Kalan veriler incelendiğinde model geliştirilirken, veri setinde dengesizlik olmaması için tüm sınıflardan eşit sayıda örnekler alınarak eğitim ve test kümeleri oluşturulmuştur. Tablo 1 incelendiğinde en az verinin 11 numaralı sınıfa yani cep telefonuna ait olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle kullanılacak olan test ve eğitim verilerinin sayısı bu değerden az olmalıdır. Bu nedenle eğitim verisi

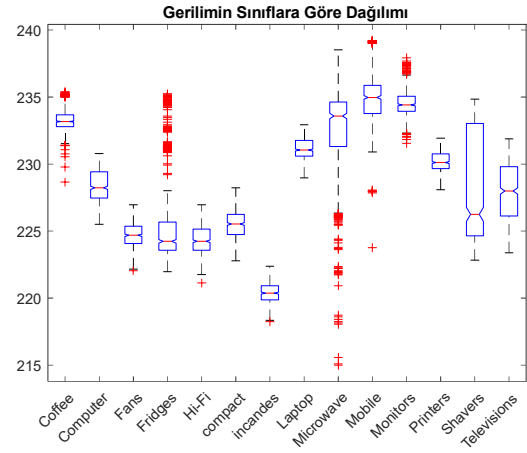
olarak 625 elemanın %80'i yani, her bir sınıftan rastgele olarak 500 eleman seçilerek eğitim gerçekleştirilmiştir. Hesapsal yükü azaltmak amacıyla, kalan 125 elemandan rastgele seçilen 50

tanesi geliştirilen modellerin test edilmesinde kullanılmıştır.

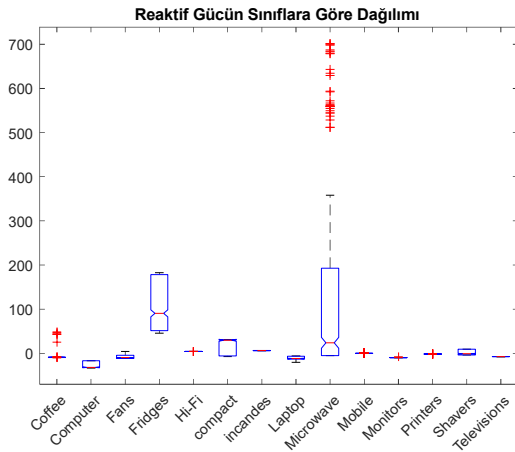
Her bir sınıfa göre öznitelikleri dağılımları kullanılarak Şekil 1'de verilmiştir.



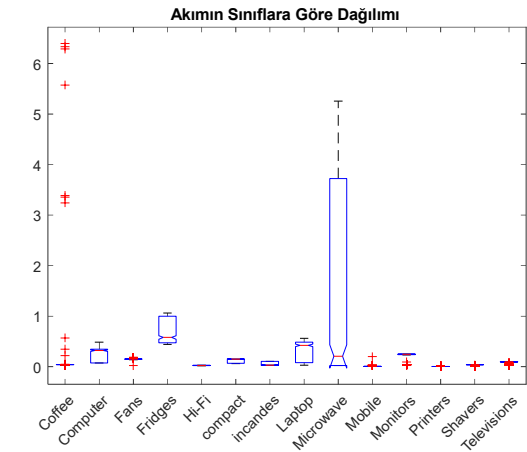
(a)



(b)



(c)



(d)

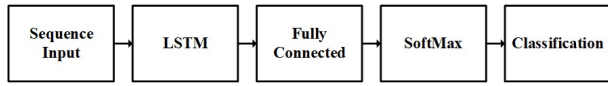
**Şekil 1:** Özniteliklerin sınıflara göre dağılımları a: Faz açısı, b: Vrms, c: Q, d:Irms

## 2.2 LSTM tabanlı sınıflandırma

Long short term memory (LSTM) ilk olarak 1997 yılında Hochreiter & Schmidhuber tarafından geliştirilmiş bir Recurrent Neural Network (RNN) modelidir. RNN modellerinde de tutulan geçmiş bilgilere ait gradyenler eğitim sırasında yok olabilmektedir. Bu problem de ağlar arasındaki katsayıların çok büyük veya çok küçük olmasına neden olur. Bu sorunların üstesinden gelmek için tekrarlayan bir ağ yapısı olan LSTM kullanılmaktadır. LSTM, gizli katmanlarda tutulan bilgilerin hangi çıktıya ve gelecekte hangi gizli katmana gideceğini kontrol etmek için ek kapılar

kullanır. LSTM, hücre durumunu kullanılan bu ek kapılarla bir sonraki hücreye bilgi ekleme veya silme şeklinde iletebilirler.

Şekil 2'de bu çalışma kapsamında kullanılan LSTM yapısı gösterilmiştir. LSTM'ler esnek yapısı sayesinde görüntü sınıflandırma başta olmak üzere zaman serisi tahminleme, sınıflandırma gibi birçok farklı alanda başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Bu çalışma kapsamında da elimizde sinyallerden çıkartılmış olduğundan, LSTM'ler sınıflandırma amaçlı olarak kullanılmıştır.



**Şekil2:** Kullanılan LSTM yapısı

Bu çalışma kapsamında LSTM'ler sinyal sınıflandırıcı olarak kullanılacağından, giriş olarak öznitelik vektörü verilmiştir. Bu nedenle giriş katmanında sequence input bulunmaktadır. Benzer şekilde Bi-Directional LSTM'de de benzer şekilde bir yapı kurulmuştur. Geliştirilen LSTM tabanlı sınıflandırıcıların parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2:** LSTM sınıflandırıcı parametreleri

Parametre	Değeri
MiniBatch	5
Epoch	5
Gizli Katman Sayısı	100
Aktivasyon Fonksiyonu	SoftMax

### 2.3 Genetik Algoritma

Sezgisel algoritmalarından biri olan, genetik algoritma temelde Darwin'in evrim teorisine dayanmaktadır. Bu nedenle, gen, doğal seçim, mutasyon gibi kavramlar genetik algoritmanın temellerini oluşturmaktadır. Özellikle çaprazlama ve mutasyon işlemleri ile lokal ekstremum noktalarından kurtulabilmesi genetik algoritmanın en büyük avantajlarından biridir. Bu sayede, genetik algoritma birçok farklı optimizasyon çalışmalarında başarılı bir şekilde kullanılmıştır (Dehzen and Kail 2008). Özellikle makine öğrenmesi ve de derin öğrenme modellerinde modelin parametrelerinin optimizasyonunda sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında da sınıflandırmada kullanılan Bi-LSTM derin öğrenme modelinin hiperparametrelerinin optimizasyonu sağlanmıştır. Bu çalışma kapsamında batch size, epoch size, gizli katman sayısı ve aktivasyon fonksiyonu optimize edilmiştir. Sınıflandırıcının doğruluk değeri genetik algoritmanın uygunluk fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Genetik algoritma sezgisel bir yöntem olduğundan her bir çalışma sırasında farklı bir çözüm elde edebileceğinden dolayı, geliştirilen algoritma 100 defa çalıştırılarak elde edilen

sonuçların ortalaması alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda optimal parametrele Epoch, MiniBatch, Gizli katman boyutu, ve aktivasyon fonksiyonu için sırasıyla, 5,3,100 ve SoftMax olarak bulunmuştur.

### 3. Bulgular

Bu çalışma kapsamında kullanılan veriseti üzerinde geliştirilen her bir sınıflandırıcının sınıflandırma doğruluğu Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde Geliştirilen GA tarafından optimize edilmiş Bi-LSTM Modelinin monitör hariç kalan sınıflar için en yüksek sınıflandırma doğruluğuna sahip olduğu gözlenmiştir. Her bir sınıf için sınıflandırma doğruluğunun %76'in üzerinde ve ortalama doğruluğun da %94 olduğu gözlenmiş olup, bu değerlerin de literatürde yapılan çalışmalardan daha üstün olduğu Tablo 4'de diğer yapılan çalışmalarla karşılaştırılarak gösterilmiştir.

**Tablo 3:** Sınıflandırıcıların doğrulukları

Sınıf	GA+BiLSTM	BiLSTM	LSTM	FeedForwardNet
Kahve makinası	1	0.98	0.98	0.22
Bilgisayar	1	1	1	0.12
Vantilatör	1	1	0.28	0.15
Buzdolabı	1	1	1	0.27
Sessistemi	0.98	0.98	0.98	0.37
Floresan lamba	0.98	0.98	0.68	0.23
Akkor lamba	1	0.98	1	0.28
Laptop	0.76	0.56	0.52	0.05
Mikrodalg a	0.86	0.74	0.64	0.09
Cep telefonu	1	1	0.98	0.33
Monitör	0.78	0.88	0.88	0.34
Yazıcı	1.	1.	0.98	0.41
Tıraş makinası	0.88	0.8	0.96	0.35
Televizyon	0.95	0.9	1	0.29
Ortalama	<b>0.94</b>	<b>0.91</b>	<b>0.84</b>	<b>0.25</b>

Yapılan çalışma kapsamında geliştirilen GA destekli Bi-LSTM derin öğrenme modelinin elde ettiği başarı oranı Tablo 4'de literatürde bulunan diğer

yöntemlerle karşılaştırılmıştır. **Tablo 4:** Geliştirilen Modelin Literatürdeki yöntemlerle karşılaştırılması

Model	Ortalama doğruluk
Emir	%67
Ridi	%73
Samira	%68
<b>Önerile Model (GA+BiLSTM)</b>	<b>%94</b>

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, kapsamında elektrikli ev aletlerinin şebekeden çektikleri akım/gerilim karakteristiğine göre sınıflandırılması için metotlar geliştirilmiştir. Geliştirilen metotlar ACS-F2 veriseti üzerinde denenmiştir. Geliştirilen yöntemlerden genetik algoritma destekli Bi-LSTM modelinin diğer yöntemlerden çok daha yüksek sınıflandırma doğruluğu(%94) elde ettiği gözlenmiştir. Çalışma kapsamında önerilen modelin literatürde yapılan çalışmalardan çok daha başarılı sonuçlar elde ettiği gözlenmiştir.

#### 5. Kaynaklar

- Howell E.K. 2007. How switches produce electrical noise," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, no. **3**, pp. 162–170,
- Patel S.N., Robertson T., Kientz J.A., Reynolds M.S. Abowd., G.D, 2007. At the flick of a switch: Detecting and classifying unique electrical events on the residential power line, 9th international conference on Ubiquitous computing, Springer-Verlag, pp. 271–288.
- Hart G. W., 1992, Nonintrusive appliance load monitoring," Proceedings of the IEEE, vol. **80**, pp. 1870-1891,

Kuruppu S., Kulatunga N. A., 2012.Smart meter based non-intrusive appliance detection algorithm for local real time feedback purposes," in Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia), 2012 IEEE, , pp. 1-5.

Armel K. C., Gupta A., Shrimali G., Albert A., 2013.Is disaggregation the holy grail of energy efficiency? The case of electricity," Energy Policy, **52**, pp. 213-234,

Ridi A., Gisler C., Hennebert J., 2014. A survey on intrusive load monitoring for appliance recognition, 22nd International Conference on Pattern Recognition (ICPR),

Salihagic E., Kevric J., Dogru N., "Classification of ON-OFF states of Appliance Consumption Signatures" XI International Symposium on Telecommunications. 2016.

Samira G., Rammohan M., 2018. Significance of Classifier and Feature Selection in Automatic Identification of Electrical Appliances IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics,

Hochreiter S., Jurgen S., 1997. Long Short Term Memory N. Journal of Neural Computation, **9(1)**, 1735-1780.

Pulwer A., Liu S., "LSTM with working memory" N. International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)

Jiajun L., Huazhu S., Jun L., Kaituo M., "Comprehensive analysis and classification of natural language questions based on Bi-LSTM-CRF" IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA)

Dezhen Z., Kai Y., 2008. Genetic Algorithm Based Optimization for AdaBoost, International Conference on Computer Science and Software Engineering,

Derleme Makalesi / Review Article  
e-ISSN 2667-4165 (<https://dergipark.org.tr/akuumbd>)

## Pankreas Kanserinin Erken Evrelerde Teşhisi için Yapılan Biyosensör Çalışmaları

Zikriye Özbek<sup>1,\*</sup>, Nurşah Gür<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Canakkale Onsekiz Mart, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering, Canakkale, 17100, Turkey

<sup>2</sup>Arven Pharmaceutical Company, Department of Biotechnology Quality Control, Kırklareli, 39000, Turkey

\*e-mail: [zikriye@comu.edu.tr](mailto:zikriye@comu.edu.tr), ORCID: 0000-0002-9112-1478

e-mail: [nursahgur8@gmail.com](mailto:nursahgur8@gmail.com), ORCID: 0009-0008-7753-3581

The arrival date:12.05.2023 ; Date of Acceptance: 24.05.2023

### Öz

#### Anahtar Kelimeler

Pankreas Kanseri;  
Pankreas Kanseri Belirtileri;  
Biyobelirteçler;  
Biyosensörler.

Pankreas kanseri, kötü prognoza ve yüksek ölüm oranına sahip bir kanser türüdür. Agresif bir kanser türü olan pankreas kanserinin erken tespit edilmesi oldukça zordur ve genellikle ileriki evrelerde kesin olarak teşhis koyulmaktadır. Teşhis konulan hastalarda 5 yıllık sağkalım oranı ortalama % 6'dır. Bu yüzden, pankreas kanserinin erken teşhis edilmesi, erken müdahale sonucu sağkalım oranını arttırmada ve ölüm oranlarını azaltmada önemli bir role sahiptir. Pankreas kanserinin teşhis edilmesinde geleneksel yöntemler olarak biyopsi, ultrason, manyetik rezonans gibi görüntüleme teknikleri kullanılır ancak bu teknikler pahalı, çok zaman almakta ve doğru, kesin sonuçlar alabilmek için alanında uzman kişiler tarafından yapılması ve analiz edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle daha kolay ulaşılabilen, ucuz, herkes tarafından kullanılabilme özelliğine sahip ve doğru sonuç verme olasılığı yüksek araçlar olan biyosensörler, pankreas kanserinin teşhisinde kullanılması önerilmiştir. Bu çalışmada pankreas kanserinin varlığında açığa çıkan miRNA, protein gibi biyobelirteçlerin tespitine yönelik biyosensör çalışmalarına yer verilmiştir.

## Biosensor Studies For The Diagnosis Of Pancreas Cancer In Early Stages

### Abstract

#### Keywords

Pancreatic Cancer;  
Pancreatic Cancer Symptoms;  
Biomarkers;  
Biosensors.

Pancreatic cancer is a type of cancer with a poor prognosis and high mortality rate. Pancreatic cancer, which is an aggressive type of cancer, is very difficult to detect early and is usually diagnosed in later stages. The 5-year survival rate in diagnosed patients is 6% on average. Therefore, early detection of pancreatic cancer has an important role in increasing the survival rate and reducing mortality rates as a result of early intervention. Imaging techniques such as biopsy, ultrasound, and magnetic resonance are used as traditional methods in the diagnosis of pancreatic cancer, but these techniques are expensive, take a lot of time and need to be performed and analyzed by experts in the field in order to obtain accurate and precise results. For this reason, biosensors, which are more accessible, inexpensive, can be used by everyone, and have a high probability of giving accurate results, have been suggested to be used in the diagnosis of pancreatic cancer. In this study, biosensor studies for the detection of biomarkers such as miRNA and protein, which are revealed in the presence of pancreatic cancer, are included.



## 1. Introduction

Pancreatic cancer (PC) is a type of cancer that depends on genetic and environmental conditions (Abe et al. 2021). The risk of developing pancreatic cancer in individuals with a first-degree relative with pancreatic cancer [9.0 (95% CI, 4.5-16.1)] is higher than in individuals without a family history of pancreatic cancer [2.4 (95% CI, 0.06-13.5)] (Klein et al. 2004). Smoking is the biggest environmental factor that causes pancreatic cancer (Rulyak et al. 2003). Pancreatic cancer is a fatal disease involving highly aggressive pancreatic ductal adenocarcinoma (PDAC), accounting for 85-95% of all pancreatic malignancies, with a 5- year survival rate of 1.2-6% (Conroy et al. 2016). PDAC is a heterogeneous type of cancer that includes endocrine and exocrine pancreatic cancers and accounts for more than 90% of all pancreatic tumors (Quian et al. 2019). PDAC does not arise directly; however, it is known to arise from non-invasive precursor lesions that undergo histological and genetic progression resulting in invasive neoplasia. The most common premalignant precursors of PDAC are pancreatic intraepithelial neoplasms (PaINs) (Previdi et al. 2016). Early detection of pancreatic cancer is extremely difficult, and most patients are not detected until the disease has spread (Foley et al. 2016). The most common symptoms of pancreatic cancer are pain, jaundice, and weight loss. Jaundice is caused by a disproportionate increase in bilirubin and alkaline phosphatase levels in the blood as a result of obstruction of the gallbladder due to tumor shown in Table 1 and table 2 (Freelove et al. 2006). The color of the urine is dark due to the high level of conjugated bilirubin and the absence of urobilinogen, while the color of the stool is pale due to the lack of stercobilinogen. Severe

itching, which causes jaundice, may also occur with increased bilirubin levels. As observed in pancreatic cancer and other cancer types, the cause of pain is usually pain signals sent from the celiac plexus (Ambai et al. 2021). Sensory nerve endings are located in the pancreatic parenchyma, and these nerves pass through the celiac ganglion without synapses, thus causing pain in pancreatic cancer (Dobosz et al. 2016). With the neurolysis of the celiac plexus, the nerves are damaged. The patient is prevented from feeling pain, or the pain is temporarily blocked by blocking the celiac plexus (Dobosz et al. 2016, Cornman-Homonoff et al. 2017)

**Table 1.** Formed Cancer of The Head Pancreas

Symptoms	Diseases (%)
Weight Loss	92
Jaundice	82
Pain	72
Anorexia	64
Dark Urine	63
Light Color Stool	62
Nausea	45
Vomiting	37
Fatigue	35

**Table 2.** Formed Cancer of The Neck and Tail of The Pancreas

Symptoms	Diseases (%)
Weight Loss	100
Pain	87
Nausea	43
Weakness	42
Vomiting	37
Anorexia	33
Constipation	27
Food Intolerance	7
Jaundice	7

Diagnosis of solid pancreatic mass is made by transabdominal ultrasound, endoscopic ultrasound (EUS), multi-detector computed tomography (MDCT), magnetic resonance imaging (MRI) and positron emission tomography/computed tomography (PET/CT), and cross-section imaging methods (Pietryga et al. 2015). Early diagnosis of cancer, which is increasing rapidly nowadays, plays a vital role. Active in the body, especially in pancreatic cancer disease designing a biosensor for the determination of biomarkers that are known to increase It is important and very advantageous. Molecular biomarkers, particularly cancer initiation and progression for strategies to be developed for early detection of cancer it will be useful. Trace of proteins found in serum that are specific to certain types of cancer determination of the amount of tumor, such as carcinoembryonic antigen and alpha-fetoprotein

started with the development of determinants. Immunodiffusion and then RIA and ELISA The use of these techniques has led to the discovery of many serum tumor markers, many of them have come into routine use. However, the disadvantage of such determinants is limited their specificity and sensitivity. In recent years, serum or with the understanding of tumor-specific molecular changes in their plasma, cancer a new era begins in diagnosis. Molecular biomarkers, especially cancer finding those associated with initiation and progression is essential for early detection of cancer. It will be useful for developing strategies.

With the discovery of biological molecules that increase in the presence of pancreatic cancer, it is aimed to detect pancreatic cancer at an early stage with the development of biosensors that detect these biomarkers (Ibanez-Redin et al. 2015). Looking at the literature, HSP70 protein in urine bladder urothelial cancer, prostate cancer, pancreatic cancer, breast cancer, endometrial it has also been used as a biomarker in cancer types such as cancer and liver cancer (K. Dutta et al. 2012) .

Biosensors are devices that detect the change that occurs due to a biological or biochemical reaction and can detect the presence/absence of a biological element by converting this change into a series of signals (Szunerits et al. 2018, Cesewski et al. 2020). A biosensor comprises three fundamental components: a biological recognition element (bioreceptor), a converter that converts the change caused by the response into a signal, and a measuring device that detects the signal's strength (Aydin et al. 2019). Biosensors are classified according to the type of bioreceptor or transducer. Different sensors are created with biomolecules

such as enzymes, antibodies, cells, aptamers, or single-stranded DNA. The target recognizes the analyte and binds specifically (Aydin et al. 2019, Strehlitz et al. 2008). According to the type of converter; It is divided into electrochemical systems (amperometric, impedimetric, potentiometric, voltammetric, ion charge or field-effect transistors), optical systems (interferometry, luminescence, etc.), mass change sensing systems, magnetic systems, thermal systems and piezoelectric systems (Toregul Islam, 2017, Piroozmand et al. 2020). Biosensors should have features such as high sensitivity, selectivity, reproducibility, stability, and correct post-processing results (Cornman-Homonoff et al. 2017). The biological recognition element must remain immobile on the surface of the biosensor. This process is called immobilization. The immobilization process is carried out by creating hydrogen bonds, van der Waals interactions, hydrophobic forces, or ionic forces that may occur between the surface and the biological recognition element (Ahmadi et al. 2020).

## **2. Biomarkers Helping Early Diagnosis of Pancreatic Cancer**

It is of great importance to illuminate the pathways that play a role in the initiation and progression of pancreatic cancer. By detecting the molecules produced by cancer cells, the presence and severity of cancer can be measured (Moschovis et al. 2016). The main ones of these molecules are; long noncoding RNAs(lncRNAs) (Ghafouri-Fard et al. 2021), MUC1 (Cao et al. 2017, Yokoyama et al. 2016, Sierzega et al. 2016), MUC4 (Yokoyama et al. 2016, Sierzega et al. 2016), MUC5AC (Sierzega et al. 2016), miR-21 and miR-155 (Ideno et al. 2020), alpha-enolase (Sun et al. 2017), CCT8 (Liu

et al. 2019), CTSL (cathepsin L) (Singh et al. 2014), CEACAM (Simeone et al. 2007), osteopontin (Simeone et al. 2007), macrophage inhibitor cytokine-1 (MIC-1) (Koopmann et al. 2004), fucosylated haptoglobin (Fuc-Hpt) (Miyoshi et al. 2016), carbohydrate antigen 19 - 9 (CA19-9) (Li et al. 2021) and alteration of the microbiome in the pancreas (Goonetilleke et al. 2007). Appropriate biosensor studies that enable pancreatic diagnosis can be performed with this biomarker. It aims to detect cancer at an early stage.

### *2.1. Biosensors for Detection of Pancreatic Cancer*

The health system aims to increase the quality of life of individuals by identifying diseasespecific markers. Therefore, a cost-effective and functional method is needed (Ye et al. 2017). Enzyme-linked immunosensor testing (ELISA) is widely used in the detection of biomarkers (Ye et al. 2017, Li et al. 2017). ELISA is a method that is based on signal generation using biological enzymes such as horseradish peroxidase (HRP) or alkaline phosphatase (ALP) and provides quantitative measurement by detecting the color change resulting from interaction (Ye et al. 2017, Khodashenas et al. 2019). A study was conducted to detect Fuc-Hpt, a marker of pancreatic cancer, by ELISA. In this study, a molecule called Aleuria aurantia lectin (AAL), which recognizes all kinds of fucosylation, and AAL-antibody and AAL-reactive structures were used to detect the presence of Fuc-Hpt. It has been determined that Fuc-Hpt is produced ten times more in patients with pancreatic cancer, according to the ELISA test performed on patients with healthy people (Miyoshi et al. 2016). However, molecules such as enzymes (Ye et al.

2017)/antibody and antigen (Zhao et al. 2019)/protein (Gunawan et al. 2018) used in the ELISA method can be easily degraded due to external factors (Li et al. 2017). Therefore, standard ELISA is insufficient for detecting complex and very small molecules, especially cancer markers (Li et al. 2017). The first method used in the diagnosis of pancreatic cancer is ELISA, however, this method is not sensitive and cannot detect proteins in the later stages of cancer. Therefore, one-step devices that can provide faster results, are cheaper and detect even small amounts of markers are preferred (Wang, 2006). Devices such as biosensors play an important role in the early detection of pancreatic cancer and other cancers because detecting cancer at an early stage allows for improving the treatment of the disease and the mortality rate (Blum et al. 2014). CA19-9 is the only biomarker specifically recommended for pancreatic cancer by the National Comprehensive Cancer Network guidelines (Meng et al. 2017). However, approximately 20% of people with pancreatic cancer have little or no expression of the CA19-9 marker (Luo et al. 2017). The reason for this is that people who do not have the Lewis gene, which constitutes the Lewis (-) blood group system, do not secrete CA19-9 at all or very little (Luo et al. 2017, Tsai et al, 2020). Although this situation creates a negative situation for CA19-9, CA19-9 plays an important role in the detection of pancreatic cancer. Various biosensor studies have been carried out for the detection of CA19-9.

## *2.2 Immunosensors for Diagnosing Pancreatic Cancer*

An immune sensor consists of a sensing element and a transducer. Detection is achieved by immobilizing antigen-antibodies on the

biosensor surface. The transducer detects the interaction of antibodies with antigens and converts it into a measurable signal. According to the biosensor transducer, optical immunosensors are divided into several classes, such as electrochemical immunosensors (Justino et al. 2016, Zhu et al. 2019). Electrochemical immunosensors are immunosensors in which the interaction of the antibody and antigen immobilized on the electrode surface is converted into an electrochemical signal. Its major advantages are high specificity and good stability against small amounts of the analyte (Justino et al. 2016). Optical immunosensors have low signal detection and remote signal capture. An optical signal (fluorescent or colored) is produced due to antibody-antigen interaction in optical immunosensors, and the medium's optical properties are changed. Optical changes that occur after antibody-antigen interaction are detected by a photodetector and converted into an electrical signal (Justino et al. 2016). CA19-9, a pancreatic cancer marker, has been detected using immunosensors (Soares et al. 2018). In a study, immunosensors were created using a simple film architecture to detect CA19-9 biomarkers using electrical impedance spectroscopy. The designed electrode surface has a single layer coated with active anti-CA19-9. Serum samples from patients successfully determined CA19-9 levels. Thus, it has been proven that pancreatic cancer can be detected quickly and simply with high sensitivity (Soares et al. 2018). Screen-printed electrodes modified with nanostructured carbon nano-onion films have been developed that can detect CA19-9 even at low concentrations (Ibanez-Redin et al. 2019). Carbon nano corms (CNOs) are from the fullerene family and consist of hemispherical, polyhedral graphite layers close to each other

(Mykhailiv et al. 2019). Besides showing high compatibility with protein-derived biomolecules such as peptides, glycopeptides, and proteins, it may also allow their use as intracellular carriers (D'amora et al. 2019). For the detection of CA19-9, CNOs, silver (Ag) screen-printed nested electrodes (SPIDEs) modified with graphene oxide (GO) films were prepared and an immunosensor was formed with them (Ibanez-Redin et al. 2019). It has been a simple, reproducible detection method that detects CA19-9 with high specificity (Ibanez-Redin et al. 2019)

Materials from natural sources such as nanomaterials, graphene (Xie et al. 2011), carbon nanotubes (CNTs) (Huang et al. 2015), metallic nanoparticles (Anik et al. 2016), chitosan (El-dib et al. 2014) that can be used in immunosensors serve as a matrix to immobilize biomolecules and increase the sensitivity by increasing the measured signal (Soares et al. 2017). Since gold nanoparticles (AuNPs) generate higher electric current, they provide more active sites in a single recognition reaction and are used to amplify the analytical signal (Cao et al. 2011). An immunosensor has been developed in which polymer nanofibers modified with AuNPs are used as the matrix for the immobilization of anti-CA19-9 antibodies using electrochemical impedance spectroscopy (Soares et al. 2017). It showed high sensitivity in detecting CA19-9 at different concentrations and binds irreversibly to CA19-9 with high sensitivity, selectivity, and antigen-antibody interaction (Soares et al. 2017).

Electrochemiluminescence (ECL) allows electron transfer on the electrode surface and creates excited states that emit light while electron transfer reactions occur (Richter,

2004). The resulting light signal is converted into an electrical signal via a photomultiplier tube (PMT) and then recorded in a computer. There are many application areas such as electrochemiluminescences, DNA detection (Wei et al. 2019), microRNA detection (Liu et al. 2018), and fingerprint detection (Wei et al. 2019). Another method used to differentiate between different types of cancer by exosomal protein marker profiling is high sensitivity ECL. It can distinguish even small differences between other high-sensitivity exosomal protein markers (Wei et al. 2019). An ECL immunosensor was established to detect exosomes by interacting AuNPs loaded on the metal-organic framework (MOF) and various conjugated polymer dots (Pdot). Also, the ECL immunosensor can detect exosomes produced by PANC -1 cells at low concentrations. The biosensor has good potential for clinical diagnosis (Wei et al. 2019). PEAK1, another marker of pancreatic cancer, is found at high rates in malignancies and leads to the growth and metastasis of PDAC (Kelber et al. 2020). This immunosensor design developed an electrochemical biosensor using gold nanoparticles labeled anti-PEAK1 probes. With the developed biosensor, a low-cost and successful PEAK1-specific immunosensor was designed for the early detection of pancreatic cancer (Prasad et al. 2020).

### *2.3 Aptasensors for Diagnosing Pancreatic Cancer*

Aptamers are single-stranded DNA (ssDNA), RNA, or modified nucleic acids that have the ability to bind with high affinity and high specificity to various ions, large proteins, living cells and small organic molecules (Kaur et al. 2018, Shangguan et al. 2006). Aptamers are target tools for early cancer detection with

many advantages such as high tissue penetration, rapid production process, low synthesis cost, low immunogenicity, thermal stability, and ease of labeling. So, they are potential molecules to overcome PDAC therapy and diagnosis challenges (Li et al. 2020). As aptamer-based biosensors, aptasensors show excellent specific binding properties for selecting target molecules. Therefore, aptasensors are preferred over antibody-based biosensors (Sharma et al. 2022).

When aptamers bind to target molecules, their conformation changes. This property has played a key role in target identification. Aptasensors can have electrochemical, optical, and calorimetric properties (Li et al. 2016). A SERS calorimetric bimodal aptasensor has been developed for the detection of MUC1, a marker of pancreatic cancer (Li et al. 2020). In this aptamer-based biosensor, MUC1-specific aptamer functionalized nanobeads were used. It detected MUC1 in a mixed molecule environment using gold-silver core-shell nanoparticles in SERS. Calorimetric SERS probes were used to report signals simultaneously. The designed aptasensor can determine the level of MUC1 in serum samples. It has high sensitivity and allows quantitative measurement of MUC1 (Li et al. 2020). Aptamer-based biosensors are non-invasive devices for early diagnosis of PDAC (Li et al. 2020).

#### *2.4 SERS Biosensors in the Diagnosis of Pancreatic Cancer*

Raman spectroscopy relies on inelastic light scattering on the sample. Natural fingerprint vibration information is created on the sample with factors such as Raman spectrum components, symmetry, and environment (Zong

et al. 2018). Raman spectroscopy determines chemical elements, molecular structure, conformations, and intermolecular interactions and shows very good results (Zong et al. 2018). Raman spectroscopy is a promising technique with very good chemical properties and specificity to identify the analyte in mixtures of various substances. It has poor signal transmission in water and can be easily studied in aqueous solutions (Zong et al. 2018, Ambartsumyan et al. 2020). To increase the sensitivity of Raman spectroscopy, surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) has been developed on Ag metal surfaces and has greatly increased the sensitivity of Raman spectroscopy (Li et al. 2016). A dual SERS biosensor has been designed to detect microRNAs in exosome and blood plasma residues in the diagnosis of pancreatic cancer (Thind&Wilson, 2016). MiRNAs that increase in the presence of pancreatic cancer, such as miR-21, and miR-155 (Ideno et al. 2020), or in the presence of other cancers, are an important part of exosomal transport (Pang et al. 2019). Tumor miRNAs transmitted by exosomes stimulate the microenvironment and cause tumor progression through angiogenesis (Thind&Wilson, 2016). Therefore, miRNAs are also important biomarkers for the early detection of cancer (Ma et al. 2018). Compared with free miRNAs in serum and exosomal miRNAs, exosomal miRNAs are not inhibited by RNase and are more stable in peripheral blood (Pang et al. 2019). A single-step biosensor study was conducted to detect miRNAs, and a DSN-supported dual SERS biosensor was used in this study (Pang et al. 2019). A biosensor with a DSNsupported recycling signal supported by a dual SERS biosensor with Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Ag-SERS assembly, which can detect the analyte even at very low

concentrations, has been created (Pang et al. 2019).

### *2.5 Electrochemical Biosensors for the Diagnosis of Pancreatic Cancer*

Proteases carry out proteolysis, which is one of the biological catalytic reactions. It also controls physiological processes essential for life, such as proteolysis, digestion, apoptosis, wound healing, and protein and organelle recycling (Eatemadi et al. 2017, Gurumallesh et al. 2019, Turk et al. 2012). There are six protease groups, namely serine, cysteine, glutamic acid (Yang et al. 2009), threonine, aspartate, and metalloproteases (Eatemadi et al. 2017, Turk et al. 2012). Based on the nature of the key amino acid in the active site of the protease and the cleavage mechanism of the peptide bond, and on different catalytic mechanisms (Eatemadi et al. 2017, Turk et al. 2012). In proteolysis, the peptide bond at the carbonyl group of the peptide is hydrolyzed and proteases have a wide range of enzymes (Li et al. 2020). Trypsin is in the serine protease group (Olsen et al. 2004) and is produced by the pancreas (Yang et al. 2009). Trypsin hydrolyzes peptide bonds at the C-terminus of arginine or lysine (Olsen et al. 2004). Trypsin is produced in the pancreas in the form of trypsinogen, if it was not produced in the form of trypsinogen, it could cause serious damage to the pancreas. Therefore, detection of trypsin in serum or urine can be presented as a simpler, useful, and safe method for inhibitor screening (Lin et al. 2019). The presence of trypsin in pancreatic cell lysates plays an important role in the diagnosis of chronic pancreatic diseases (Wu et al. 2014). Binary fluorescent isothiocyanate (FITC) and biotin-modified peptides were immobilized on the surface of magnetic microbeads. Mbs were

captured by a magnetic field on the screen-printed electrode surface. The biosensor is based on enzymatic labeling of MB's with the Fab region of the anti-fluorescein antibody conjugated with HRP. In the presence of the HRP enzymatic substrate labeled to MBs, Ag showed amperometric results against the reference electrode. The detection of trypsin in the cancerous pancreatic site with high selectivity and sensitivity has been quantified (Munoz-San Martin et al. 2020).

There are many types of miRNAs that occur in the presence of pancreatic cancer. miR-196b is found at high levels in blood serum in the presence of pancreatic cancer. It has been found to cause differentiation and metastasis of cells. Also, miR-196b is an important biomarker in pancreatic cancer (Wang et al. 2017). To detect miR-196b, a biosensor with an isothermal, dual-signal amplification strategy was developed to convert the signals into electrochemical signals. A polypodamine-gold nanoparticle composite modifier was used as a disposable screen-printed electrode (Jain et al. 2008). A sensitive biosensor that can detect even very small amounts of miR-196b with high specificity has been developed and shows promise in the diagnosis of pancreatic cancer (Chen et al. 2021).

### *2.6 Highly Specific Plasmonic Biosensors for Detection of Pancreatic Cancer*

The strongly enhanced surface plasmon resonance of noble metal nanoparticles at optical frequencies makes the noble nanoparticles excellent scatterers and absorbers of visible light (Jain et al. 2006). This is called localized surface plasmon resonance

(LSPR) oscillation, and this electronic oscillation creates an intense electric field around the metal particle. It can simply be visualized as a photon limited by the size of the nanostructure (Jain et al. 2006). Solid-state plasmonic biosensors have been produced for the label-free detection of microRNAs involved in pancreatic cancer (Joshi et al. 2014). A plasmonic biosensor was constructed by hybridizing PDAC-related miRNAs with complementary single-stranded DNAs functionalized to the surface of gold nanoprisms attached to the glass substrate and monitoring the LSPR dipole peak. By adding RNA duplex cleavage enzymes, the sensor can be re-sensed. Therefore it is a biosensor with high reproducibility (Joshi et al. 2014).

### 3. CONCLUSIONS

With the early detection of other types of cancer, such as pancreatic cancer, the survival time of patients increases significantly. This study includes biomarkers for early detection of pancreatic cancer and biosensor studies conducted in recent years. There were many biomarkers as markers of pancreatic cancer. Many different biosensor studies have been and continue to be done to detect these biomarkers. Among the biosensor types, electrochemical and optical biosensors showed much greater sensitivity. The analyte detection limit of the developed biosensors is slightly higher than the samples taken from the patients. Therefore, sometimes accurate results may not be obtained from biosensors due to insufficient analyte. Although CA19-9 is the best known pancreatic cancer biomarker, it is increased even in the presence of other cancer types. Therefore, it is not a very specific biomarker for the early detection of pancreatic

cancer. In future studies, biosensor studies to detect more specific molecules such as miRNAs and exosomes that occur in the presence of pancreatic cancer may yield more sensitive and specific results. Since more clear results can be obtained in biosensor studies that can detect more than one biomolecule released in the presence of pancreatic cancer, it is expected that studies on this subject will increase.

### References

- Abe, K., Kitago, M., Kitagawa, Y. & Hirasawa, A. 2021. Hereditary pancreatic cancer. *Int. J. Clin. Oncol.* **26**, 1784–1792.
- Ahmadi, Y. & Kim, K. H. 2020. Functionalization and customization of polyurethanes for biosensing applications: A state-of-the-art review. *TrAC Trends Anal. Chem.* **126**, 115881.
- Ambai, V. T., Singh, V., Boorman, D. W. & Neufeld, N. J. 2021. Celiac plexus neurolysis for abdominal cancers: going beyond pancreatic cancer pain. *PAIN Reports.* **6**, e930.
- Ambartsumyan, O., Gribanyov, D., Kukushkin, V., Kopylov, A. & Zavyalova, E. 2020. SERS Based Biosensors for Virus Determination with Oligonucleotides as Recognition Elements. *Int. J. Mol. Sci.* **21**, 3373.
- Anik, Ü. & Timur, S. 2016. Towards the electrochemical diagnosis of cancer: nanomaterialbased immunosensors and cytosensors. *RSC Adv.* **6**, 111831–111841.
- Aydın B., E., Aydın, M. & Kemal Sezgintürk, M. 2019. Biosensors and the evaluation of food contaminant biosensors in terms of their performance criteria. *Inter.Jour. of Envi. Analyt. Chem.* **100**, 602–622.
- Blum, R. & Kloog, Y. 2014. Metabolism addiction in pancreatic cancer. *Cell Death Dis.* **5**, e1065–e1065.



- Cao, H., Fang, X., Li, H., Li, H. & Kong, J. 2017. Ultrasensitive detection of mucin 1 biomarker by immuno-loop-mediated isothermal amplification. *Talanta*. **164**, 588–592.
- Cao, X., Ye, Y. & Liu, S. 2011. Gold nanoparticle-based signal amplification for biosensing. *Anal. Biochem.* **417**, 1–16.
- Cesewski, E. & Johnson, B. N. 2020. Electrochemical biosensors for pathogen detection. *Biosens. Bioelectron.* **159**, 112214.
- Chen, Ss. C., Chen, K. T. & Jou, A. F. J. 2021. Polydopamine-gold composite-based electrochemical biosensor using dual-amplification strategy for detecting pancreatic cancer-associated microRNA. *Biosens. Bioelectron.* **173**, 112815.
- Conroy, T. et al. 2016. Current standards and new innovative approaches for treatment of pancreatic cancer. *Eur. J. Cancer.* **57**, 10–22.
- Cornman-Homonoff, J., Holzwanger, D. J., Lee, K. S., Madoff, D. C. & Li, D. 2017. Palliative Care Interventions in the Cancer Patient: Celiac Plexus Block and Neurolysis in the Management of Chronic Upper Abdominal Pain. *Semin. Intervent. Radiol.* **34**, 376.
- D'amora, M. et al. 2019. Carbon Nano-Onions as Non-Cytotoxic Carriers for Cellular Uptake of Glycopeptides and Proteins. *Nanomater.* Vol. **9**, Page 1069 9, 1069.
- Dobosz, Ł. et al. 2016. Pain in pancreatic cancer: review of medical and surgical remedies. *ANZ J. Surg.* **86**, 756–761.
- Dutta K. S. et al. 2012. Serum HSP70: a novel biomarker for early detection of pancreatic cancer. *Pancreas.* **41**(4): 530–534.
- Eatemadi, A. et al. 2017. Role of protease and protease inhibitors in cancer pathogenesis and treatment. *Biomed. Pharmacother.* **86**, 221–231.
- El-Dib, F. I., Hussein, M. H. M., Hefni, H. H. H., Eshaq, G. & Elmetwally, A. E. 2014. Synthesis and characterization of crosslinked chitosan immobilized on bentonite and its grafted products with polyaniline. *J. Appl. Polym. Sci.* **131**, 41078.
- Freelove, R. & Walling, A. D. 2006. Pancreatic Cancer: Diagnosis and Management. *Am. Fam. Physician.* **73**, 485–492.
- Foley, K., Kim, V., Jaffee, E. & Zheng, L. 2016. Current progress in immunotherapy for pancreatic cancer. *Cancer Lett.* **381**, 244–251.
- Ghafouri-Fard, S., Fathi, M., Zhai, T., Taheri, M. & Dong, 2021. P. LncRNAs: Novel Biomarkers for Pancreatic Cancer. *Biomol.* **11**, 1665 11, 1665.
- Goonetilleke, K. S. & Siriwardena, A. K. 2007. Systematic review of carbohydrate antigen (CA19-9) as a biochemical marker in the diagnosis of pancreatic cancer. *Eur. J. Surg. Oncol.* **33**, 266–270.
- Gunawan, F. et al. 2018. Comparison of platform host cell protein ELISA to process-specific host cell protein ELISA. *Biotechnol. Bioeng.* **115**, 382–389.
- Gurumalles, P., Alagu, K., Ramakrishnan, B. & Muthusamy, S. 2019. A systematic reconsideration on proteases. *Int. J. Biol. Macromol.* **128**, 254–267.
- Huang, Z. nan, Wang, X. ling & Yang, D. Suo. 2015. Adsorption of Cr(VI) in wastewater using magnetic multi-wall carbon nanotubes. *Water Sci. Eng.* **8**, 226–232.
- Ibáñez-Redín, G. et al. 2019. Screen-printed interdigitated electrodes modified with nanostructured carbon nano-onion films for detecting the cancer biomarker CA19-9. *Mater. Sci. Eng. C.* **99**, 1502–1508.

- Ideno, N., Mori, Y., Nakamura, M. & Ohtsuka, T. 2020. Early Detection of Pancreatic Cancer: Role of Biomarkers in Pancreatic Fluid Samples. *Diagnostics*. **10**, 1056–1056.
- Jain, P. K., Lee, K. S., El-Sayed, I. H. & El-Sayed, M. A. 2006. Calculated Absorption and Scattering Properties of Gold Nanoparticles of Different Size, Shape, and Composition: Applications in Biological Imaging and Biomedicine. *J. Phys. Chem. B*. **110**, 7238–7248.
- Jain, P. K., Huang, X., El-Sayed, I. H. & El-Sayed, M. 2008. Noble Metals on the Nanoscale: Optical and Photothermal Properties and Some Applications in Imaging, Sensing, Biology, and Medicine. *Acc. Chem. Res.* **41**, 1578–1586.
- Joshi, G. K. et al. 2014. Highly specific plasmonic biosensors for ultrasensitive MicroRNA detection in plasma from pancreatic cancer patients. *Nano Lett.* **14**, 6955–6963.
- Justino, C. I. L., Duarte, A. C. & Rocha-Santos, T. A. 2016. Immunosenors in Clinical Laboratory Diagnostics. *Adv. Clin. Chem.* **73**, 65–108.
- Kaur, H., Bruno, J. G., Kumar, A. & Sharma, T. K. 2018. Aptamers in the Therapeutics and Diagnostics Pipelines. *Theranostics*. **8**, 4016.
- Kelber, J. A. et al. 2012. KRas Induces a Src/PEAK1/ErbB2 Kinase Amplification Loop That Drives Metastatic Growth and Therapy Resistance in Pancreatic Cancer. *Cancer Res.* **72**, 2554–2564.
- Khodashenas, S., Khalili, S. & Forouzandeh Moghadam, M. 2019. A cell ELISA based method for exosome detection in diagnostic and therapeutic applications. *Biotechnol. Lett.* **41**, 523–531.
- Klein, A. P. et al. 2004. Prospective Risk of Pancreatic Cancer in Familial Pancreatic Cancer Kindreds. *Cancer Res.* **64**, 2634–2638.
- Koopmann, J. et al. 2004. Serum Macrophage Inhibitory Cytokine 1 as a Marker of Pancreatic and Other Periampullary Cancers. *Clin. Cancer Res.* **10**, 2386–2392.
- Li, J. J. et al. 2021. The role of microbiome in pancreatic cancer. *Cancer Metastasis Rev.* **40**, 777–789.
- Li, N. et al. 2020. A SERS-colorimetric dual-mode aptasensor for the detection of cancer biomarker MUC1. *Anal. Bioanal. Chem.* **412**, 5707–5718.
- Li, Q. et al. 2020. Aptamers: a novel targeted theranostic platform for pancreatic ductal adenocarcinoma. *Radiat. Oncol.* **15**, 1–12.
- Li, X., Ye, S. & Luo, X. 2016. Sensitive SERS detection of miRNA: Via enzyme-free DNA machine signal amplification. *Chem. Commun.* **52**, 10269–10272.
- Li, Y. et al. 2017. Manganese dioxide nanoparticle-based colorimetric immunoassay for the detection of alpha-fetoprotein. *Microchim. Acta.* **184**, 2767–2774.
- Lin, X. et al. 2019. Robust oxidase mimicking activity of protamine-stabilized platinum nanoparticles units and applied for colorimetric sensor of trypsin and inhibitor. *Sensors Actuators B Chem.* **284**, 346–353.
- Liu, J. L. et al. 2018. Morphology-Controlled 9,10-Diphenylanthracene Nanoblocks as Electrochemiluminescence Emitters for miRNA Detection with One-Step DNA Walker Amplification. *Anal. Chem.* **90**, 5298–5305.
- Liu, P. et al. 2019. Differential secretome of pancreatic cancer cells in serum-containing conditioned medium reveals CCT8 as a new biomarker of pancreatic cancer invasion and metastasis. *Cancer Cell Int.* **19**, 1–10.

- Luo, G. et al. 2017. CA19-9-Low&Lewis (+) pancreatic cancer: A unique subtype. *Cancer Lett.* **385**, 46–50.
- Ma, D. et al. 2018. Quantitative detection of exosomal microRNA extracted from human blood based on surface-enhanced Raman scattering. *Biosens. Bioelectron.* **101**, 167–173.
- Meng, Q. et al. 2017. Diagnostic and prognostic value of carcinoembryonic antigen in pancreatic cancer: a systematic review and meta-analysis. *Onco. Targets. Ther.* **10**, 4591–4598.
- Miyoshi, E. & Kamada, Y. 2016. Application of glycoscience to the early detection of pancreatic cancer. *Cancer Sci.* **107**, 1357–1362.
- Moschovis, D., Bamias, G. & Delladetsima, I. 2016. Mucins in neoplasms of pancreas, ampulla of Vater and biliary system. *World J. Gastrointest. Oncol.* **8**, 725–734.
- Muñoz-San Martín, C. et al. 2020. A novel peptide-based electrochemical biosensor for the determination of a metastasis-linked protease in pancreatic cancer cells. *Anal. Bioanal. Chem.* **412**, 6177–6188.
- Mykhailiv, O., Zubyk, H. & Plonska-Brzezinska, M. E. 2017. Carbon nano-onions: Unique carbon nanostructures with fascinating properties and their potential applications. *Inorganica Chim. Acta.* **468**, 49–66.
- Olsen, J. V., Ong, S. E. & Mann, M. 2004. Trypsin Cleaves Exclusively C-terminal to Arginine and Lysine Residues. *Mol. Cell. Proteomics.* **3**, 608–614.
- Pang, Y. et al. 2019. Dual-SERS biosensor for one-step detection of microRNAs in exosome and residual plasma of blood samples for diagnosing pancreatic cancer. *Biosens. Bioelectron.* **130**, 204–213.
- Pietryga, J. A. & Morgan, D. E. 2015. Imaging preoperatively for pancreatic adenocarcinoma. *J. Gastrointest. Oncol.* **6**, 343.
- Piroozmand, F., Mohammadipanah, F. & Faridbod, F. 2020. Emerging biosensors in detection of natural products. *Synth. Syst. Biotechnol.* **5**, 293–303.
- Prasad, K. S. et al. 2020. A low-cost nanomaterial-based electrochemical immunosensor on paper for high-sensitivity early detection of pancreatic cancer. *Sensors Actuators B Chem.* **305**, 127516.
- Previdi, M. C., Carotenuto, P., Zito, D., Pandolfo, R. & Braconi, C. 2016. Noncoding RNAs as novel biomarkers in pancreatic cancer: what do we know?. *Future Oncol.* **13**, 443–453.
- Qian, L. et al. 2019. Biosensors for early diagnosis of pancreatic cancer: a review. *Transl. Res.* **213**, 67–89.
- Richter, M. M. 2004. Electrochemiluminescence (ECL). *Chem. Rev.* **104**, 3003–3036.
- Rulyak, S. J., Lowenfels, A. B., Maisonneuve, P. & Brentnall, T. A. 2003. Risk factors for the development of pancreatic cancer in familial pancreatic cancer kindreds. *Gastroenterology* **124**, 1292–1299.
- Shangguan, D. et al. 2006. From the Cover: Aptamers evolved from live cells as effective molecular probes for cancer study. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **103**, 11838.
- Sharma, A. et al. 2022. Potentialities of aptasensors in cancer diagnosis. *Mater. Lett.* **308**, 131240.
- Sierzega, M., Młynarski, D., Tomaszewska, R. & Kulig, J. 2016. Semiquantitative immunohistochemistry for mucin (MUC1, MUC2, MUC3, MUC4, MUC5AC, and MUC6) profiling of pancreatic ductal cell denocarcinoma improves diagnostic and

- prognostic performance. *Histopathology*. **69**, 582–591.
- Simeone, D. M. et al. 2007. CEACAM1, a novel serum biomarker for pancreatic cancer. *Pancreas* **34**, 436–443.
- Singh, N. et al. 2014. Plasma cathepsin L: A prognostic marker for pancreatic cancer. *World J. Gastroenterol.* **20**, 17532.
- Soares, A. C. et al. 2018. A simple architecture with self-assembled monolayers to build immunosensors for detecting the pancreatic cancer biomarker CA19-9. *Analyst*. **143**, 3302–3308.
- Soares, J. C. et al. 2017. Immunosensor for Pancreatic Cancer Based on Electrospun Nanofibers Coated with Carbon Nanotubes or Gold Nanoparticles. *ACS Omega*. **2**, 6975–6983.
- Sun, L. et al. 2017. Over-expression of alpha-enolase as a prognostic biomarker in patients with pancreatic cancer. *Int. J. Med. Sci.* **14**, 655–661.
- Strehlitz, B., Nikolaus, N. & Stoltenburg, R. 2008. Protein Detection with Aptamer Biosensors. *Sensors*. **8**, 4296–4307.
- Szunerits, S. & Boukherroub, R. 2013. Graphene-based biosensors. *Interface Focus* **8**.
- Thind, A. & Wilson, C. 2016. Exosomal miRNAs as cancer biomarkers and therapeutic targets. *J. Extracell. Vesicles* **5**.
- Toregul Islam, M. 2017. Biosensors, the Emerging Tools in the Identification and Detection of Cancer Markers. *J. Gynecol. Womens Heal.* **5**.
- Tsai, S. et al. 2020. Importance of Normalization of CA19-9 Levels following Neoadjuvant Therapy in Patients with Localized Pancreatic Cancer. *Ann. Surg.* **271**, 740–747.
- Turk, B., Turk, D. & Turk, V. 2012. Protease signalling: the cutting edge. *EMBO J.* **31**, 1630–1643.
- Wang, H. L. et al. 2017. MicroRNA-196b inhibits late apoptosis of pancreatic cancer cells by targeting CADM1. *Sci. Reports*. **7**, 1–13.
- Wang, J. 2006. Electrochemical biosensors: Towards point-of-care cancer diagnostics. *Biosens. Bioelectron.* **21**, 1887–1892.
- Wei, X., Zhu, M. J., Yan, H., Lu, C. & Xu, J. J. 2019. Recent Advances in Aggregation-Induced Electrochemiluminescence. *Chem. – A Eur. J.* **25**, 12671–12683.
- Wu, P., Zhao, T., Zhang, J., Wu, L. & Hou, X. 2014. Analyte-activable probe for protease based on cytochrome C-capped Mn: ZnS quantum dots. *Anal. Chem.* **86**, 10078–10083.
- Xie, Y., Chen, A., Du, D. & Lin, Y. 2011. Graphene-based immunosensor for electrochemical quantification of phosphorylated p53 (S15). *Anal. Chim. Acta.* **699**, 44–48.
- Yang, Y., Hong, H., Zhang, Y. & Cai, W. 2009. Molecular Imaging of Proteases in Cancer. *Cancer Growth Metastasis* **2**, CGM.S2814.
- Ye, H. et al. 2017. An Enzyme-Free Signal Amplification Technique for Ultrasensitive Colorimetric Assay of Disease Biomarkers. *ACS Nano*. **11**, 2052–2059.
- Yokoyama, S. et al. 2016. Aberrant methylation of MUC1 and MUC4 promoters are potential prognostic biomarkers for pancreatic ductal adenocarcinomas. *Oncotarget*. **7**, 42553–42565.
- Zhao, F., Liu, J. & Luo, J. 2019. Development of a High-Quality ELISA Method for Dinotefuran Based on a Novel and Newly-Designed Antigen. *Mol.* **24**, 2426.

Zhu, G. et al. 2019. Paper-based immunosensors: Current trends in the types and applied detection techniques. *TrAC Trends Anal. Chem.* **111**, 100–117.

Zong, C. et al. 2018. Surface-Enhanced Raman Spectroscopy for Bioanalysis: Reliability and Challenges. *Chem. Rev.* **118**, 4946–4980.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
ULUSLARARASI MÜHENDİSLİK  
TEKNOLOJİLERİ ve UYGULAMALI  
BİLİMLER DERGİSİ**

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Ahmet Necdet Sezer Kampüsü  
Teknoloji Fakültesi  
AFYONKARAHİSAR  
Tel: +90 272 228 14 46  
Belgegeçer: +90 272 228 14 49  
E-posta: [ijetas@aku.edu.tr](mailto:ijetas@aku.edu.tr)