

Published By

Sivas Cumhuriyet University

<http://cumfad.cumhuriyet.edu.tr>

**1(2):2023**

## Sivas Cumhuriyet University Journal of Engineering Faculty

Sivas Cumhuriyet University Journal of Engineering Faculty (CUMFAD) is the official publication of Cumhuriyet University Faculty of Engineering. CUMFAD is an international journal dedicated to the latest advancement of engineering. The aim of this journal is to provide a platform for scientists and academicians all over the world to promote, share, and discuss various new issues and developments in different areas of engineering. Sivas Cumhuriyet University Journal of Engineering Faculty publishes original research papers, reviews, and letters to the editor within all fields of Science, Technology, Engineering and Architecture. The journal is a scientific and peer-reviewed journal and is published online twice a year, in June and December.

**Sivas Cumhuriyet University Journal of Engineering  
Faculty-CUJEF**

**Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Dergisi-CUMFAD**

**Volume / Cilt 1 | Issue / Sayı 2  
Pages / Sayfa: 48-117**

**December/Aralık 2023**

**<https://dergipark.org.tr/tr/pub/cumfad>**

## Sivas Cumhuriyet University Journal of Engineering Faculty-CUJEF

## Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi-CUMFAD

### **Publisher/Yayıncı**

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi  
Prof. Dr. Hakan YEKBAŞ

### **Editor-in-Chief**

Assoc. Prof. Dr. Serdar KOÇKANAT

### **Editör**

Doç. Dr. Serdar KOÇKANAT

### **Co-Editors**

Assoc. Prof. Dr. Fatih KABURCUK  
Assoc. Prof. Dr. Mustafa ŞEKER  
Asst. Prof. Dr. Abdülkadir ŞEKER

### **Eş Editörler**

Doç. Dr. Fatih KABURCUK  
Doç. Dr. Mustafa ŞEKER  
Dr. Öğr. Üyesi Abdülkadir ŞEKER

### **Technical Editor**

Asst. Prof. Dr. Mikail PÜRLÜ

### **Teknik Editör**

Dr. Öğr. Üyesi Mikail PÜRLÜ

### **Technical Check and Layout Assistants**

Sivas Cumhuriyet University Electronic  
Journal Office

### **Teknik Kontrol ve Mizanpaj Sorumluları**

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Elektronik  
Dergi Ofisi

### Editorial Board/ Editör Kurulu

- Prof. Dr. Nevzat ASLAN – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Prof. Dr. Tarık TÜRK – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Prof. Dr. Ali UÇURUM – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Prof. Dr. Fuat ÖZYONAR – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Doç. Dr. Mehmet KONAR – Erciyes Üniversitesi/Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi  
Doç. Dr. Nuri KAPUCU – Hitit Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Doç. Dr. Yunis TORUN – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Doç. Dr. Hülya DOĞAN – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Doç. Dr. İlkey DEMİR – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Doç. Dr. Neşe KEKLİKÇİOĞLU ÇAKMAK – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Doç. Dr. Murat BOSTANCIOĞLU – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Doç. Dr. Hidayet TAKCI – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Doç. Dr. Ferhat KILINÇ – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Dr. Öğr. Üyesi Türker KOZA – Bozok Üniversitesi/ Yozgat Meslek Yüksekokulu  
Dr. Öğr. Üyesi Halil ARSLAN – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Dr. Öğr. Üyesi Vekil SARI – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Dr. Öğr. Üyesi Pınar BORA – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Dr. Öğr. Üyesi Yavuz TÜRKAY – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Öğr. Gör. Dr. Sinan KOŞAROĞLU – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

## Publication Board/ Yayın Kurulu

Prof. Dr. Nevzat ASLAN – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Ali UÇURUM – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Ayten ATEŞ – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ACAR – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Tarık TÜRK – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Özcan BEKTAŞ – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Meltem SARIOĞLU CEBECİ – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Fazlı SÖZMEN – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Serdar KOÇKANAT – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Murat BOSTANCIOĞLU – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Hidayet TAKCI – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

---

## Contents / İçindekiler

---

### Editorial

VII

### Editörden

VIII

Application of Oxalic Acid and Hydrogen Peroxide+Sodium Hydroxide Bleaching Chemicals on Bullet wood  
(Manikara bidentat (A.DC.) a. Chev.

Ağartıcı Kimyasallarının (Oksalik Asit Ve Hidrojen Peroksit + Sodyum Hidroksit) Bulletwood (Manikara bidentata  
(A.Dc.) A. Chev.) Ahşabında Uygulanması

**Hüseyin Peker, Elif Hümevra Bilginer, Ümit Ayata, Osman Çamlıbel, Levent Gürleyen**

48-54

Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle Data in Topographic Maps Production  
İnsansız Hava Aracı Verilerinin Topografik Harita Üretimindeki Doğruluğu

**Ahmet Turan Altun, Önder Gürsoy**

55-65

Prediction of Wear Properties of Experimental Produced Porcelain Ceramics Using Artificial Neural Networks  
(ANN)

DeneySEL Olarak Üretilen Porselen Seramiklerin Aşınma Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları (YSA) Kullanılarak  
Tahmin Edilmesi

**Ahmet Gürkan Yüksek, Tahsin Boyraz, Ahmet Akkuş**

66-74

A Systematic Literature Review on Custom NER with Evidence-Based Software Engineering  
Kanıt Dayalı Yazılım Mühendisliği ile Özel NER Üzerine SistematiK Bir Literatür İncelemesi

**Hakan Kekül, Abdulkadir Şeker**

75-81

A Novel Approach to Web-Based CADx Application for Analysis of Breast Ultrasound Images  
Meme Ultrason Görüntülerinin Analizi için Web Tabanlı CADx Uygulamasına Yeni Bir Yaklaşım

**Esmâ Uzunhisarcıklı, Volkan Göreke**

82-88

Using Ansys 3D Electromagnetic Analysis for Investigation the Effect of Harmonics on Power Transformers  
Harmoniklerin Güç Transformatörleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması için Ansys 3D Elektromanyetik Analizin  
Kullanılması

**Feyyaz Alpsalaz, Mehmet Salih Mamiş**

89-93

VI

Design of Digital Differential Relay for Protection of Power Transformers Operating Under Highly Non-Linear  
Load

Yüksek Doğrusal Olmayan Yük Altında Çalışan Güç Transformatörlerinin Korunması İçin Dijital Diferansiyel Röle  
Tasarımı

**Hülya Doğan**

94-104

Examining the Potential of Sivas' Renewable Energy Resources and Providing its Energy Demand in Protecting  
the Environment and Energy Resources

Çevre ve Enerji Kaynaklarını Korumada Sivas'ın Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Enerji Talebini  
Karşılamanın İncelenmesi

**Sevda Özel**

105-117

---

## Editorial

VII

Dear Readers, Dear Researchers,

Cumhuriyet University Journal of Engineering Faculty (CUMFAD) is an international, scientific, peer-reviewed and electronically accessible journal published twice a year by Sivas Cumhuriyet University Engineering Faculty. CUMFAD aims to deliver qualified studies in all engineering branches to its readers with an objective point of view. As the editorial board, we are happy to present the first issue of our magazine to our readers. We would like to express our deepest gratitude to our authors, reviewers and everyone who contributed to this issue of our journal, especially to our advisory board, co-editors, field editors, language editors, and staff responsible for review and typesetting. In addition, we are grateful to all our authors who have been patiently waiting for us, despite the negative impact of the earthquake disaster in our country and the disruptions due to the editorial office change process. Also, we would also like to thank everyone who has contributed and supported our magazine so far. Our next issue will hopefully be published in June 2024.

In this issue, there are 6 research and 2 review articles that have undergone a strict blind review and editorial process. Studies published in our journal go through three important stages: preliminary review, blind peer-review process and editorial process. During the peer-review process, each article was reviewed by at least two referees. In addition, every article that enters the review process is screened for plagiarism with the help of iThenticate software. We recommend our authors who want to submit their works to our journal for our upcoming issues, to pass their work through a plagiarism software before sending them to us.

For our new issues, you can upload your works to <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cumfad>. In addition, our journal aims to expand the academic advisory board and the referee pool. In this context, valuable researchers who want to be on the advisory board of our journal or who want to contribute to our journal as a referee can send their CVs to [skockanat@cumhuriyet.edu.tr](mailto:skockanat@cumhuriyet.edu.tr) via e-mail. Referee certification processes are carried out through Dergipark. For this reason, our referees who want to obtain a referee certificate should apply through Dergipark.

See you in the next issue with qualified and original works...

**Assoc. Prof. Dr. Serdar KOÇKANAT**  
**Editor**  
**December, 2023**

---



---

## Editör'den

Değerli okuyucular, kıymetli araştırmacılar,

VIII

Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi (CUMFAD) Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi tarafından yılda iki defa çıkarılan uluslararası, bilimsel, hakemli ve elektronik ortamda okuyucuların erişimine açık bir dergidir. CUMFAD, tüm mühendislik dallarında nitelikli çalışmalarını nesnel bir bakış açısı ile okuyucusuna ulaştırmayı hedeflemektedir. Yayın kurulu olarak dergimizin ilk sayısını okuyucularımızla buluşturmanın mutluluğu içerisindeyiz. Özellikle danışma kurulumuza, eş editörlerimize, alan editörlerimize, dil editörlerimize ve ön inceleme ve dizgiden sorumlu çalışanlarımıza olmak üzere, yazarlarımıza, hakemlerimize ve dergimizin bu sayısına katkıda bulunan herkese verdikleri emekten ötürü en derin şükranlarımızı sunarız. Ayrıca ülkemizde meydana gelen deprem felaketinin tüm süreçleri olumsuz etkilemesine ve editöryal ofis değişim süreci nedeniyle yaşanan aksamalara rağmen bizleri sabırla bekleyen tüm yazarlarımıza minnettarız. Bununla birlikte şimdiye kadar dergimize katkıda bulunan ve destek sağlayan herkese teşekkür ediyoruz. Bir sonraki sayımız Haziran 2024'de yayımlanacaktır.

Bu sayımızda sıkı bir kör hakemlik ve editörlük sürecinden geçmiş 6 araştırma ve 2 derleme makalesi bulunmaktadır. Dergimizde yayımlanmakta olan çalışmalar ön inceleme, kör hakemlik süreci ve editöryal süreç olmak üzere üç önemli aşamadan geçmektedir. Hakemlik sürecinde her makale en az iki hakem tarafından incelenmiştir. Ayrıca, inceleme sürecine giren her makale iThenticate yazılımı yardımıyla intihal taramasından geçmektedir. Önümüzdeki sayılarımız için çalışmalarını dergimize göndermek isteyen yazarlarımıza çalışmalarını bize göndermeden önce mutlaka intihal yazılımından geçirmelerini öneriyoruz.

Yeni sayılarımız için çalışmalarınızı <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cumfad> adresine yükleyebilirsiniz. Ayrıca, dergimiz akademik danışma kurulunu ve hakem havuzunu genişletmeyi hedeflemektedir. Bu bağlamda dergimizin danışma kurulunda yer almak isteyen veya hakem olarak dergimize katkıda bulunmak isteyen değerli araştırmacılar özgeçmişlerini [skockanat@cumhuriyet.edu.tr](mailto:skockanat@cumhuriyet.edu.tr) adresine e-posta ile gönderebilirler. Hakem sertifika işlemleri Dergipark üzerinden yürütülmektedir. Bu nedenle hakem sertifikası almak isteyen hakemlerimizin Dergipark üzerinden başvuruda bulunmaları gerekmektedir.

Nitelikli ve özgün çalışmalarla bir sonraki sayıda buluşmak üzere...

**Doç. Dr. Serdar KOÇKANAT**  
**Editör**  
**Aralık, 2023**



## Application of Oxalic Acid and Hydrogen Peroxide+Sodium Hydroxide Bleaching Chemicals on Bulletwood (Manikara bidentata (A.DC.) a. Chev.)

Hüseyin Peker<sup>1,a</sup>, Elif Hümeýra Bilginer<sup>2,b</sup>, Ümit Ayata<sup>3,c</sup>, Osman Çamlıbel<sup>4,d</sup>, Levent Gürleyen<sup>5,e</sup>

<sup>1</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye

<sup>2</sup>KTO Karatay Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Konya, Türkiye,

<sup>3</sup>Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt, Türkiye,

<sup>4</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, İç Mekan Tasarımı Pr., Kırıkkale, Türkiye,

<sup>5</sup>Düzce Borsa İstanbul Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Düzce, Türkiye,

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 07/12/2023

Accepted: 26/12/2023

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### ABSTRACT

In this study, the surface changes [glossiness, whiteness index (WI\*), and color] and shore D hardness value after the application of different wood bleaching agents (single-and two-component) on bulletwood (Manikara bidentata (A.DC.) A. Chev.) wood were investigated. According to the obtained results, in the variance analysis tests, the glossiness values at  $\parallel$  and  $\perp 20^\circ$  were determined as insignificant for the type of bleaching chemical, while all other tests were found to be significant. The Shore D hardness value was determined as 70.30 HD.  $\Delta E^*$  values were determined as 4.56 for the single-component and 7.21 for the two-component bleaching agents. The brightness values in both applications at  $60^\circ$  and  $85^\circ$ , both parallel and perpendicular to the fibers, decreased, while  $L^*$ ,  $b^*$ , and  $C^*$  values increased.

**Keywords:** Bulletwood, bleaching, oxalic acid, hydrogen peroxide, color, sodium hydroxide, glossiness

## Ağartıcı Kimyasallarının (Oksalik Asit Ve Hidrojen Peroksit + Sodyum Hidroksit) Bulletwood (Manikara bidentata (A.Dc.) A. Chev.) Ahşabında Uygulanması

#### Süreç

Geliş: 07/12/2023

Kabul: 26/12/2023

### Öz

Bu çalışmada, farklı ahşap ağartıcı (tek ve çift komponentli) kimyasallarının bulletwood (Manikara bidentata (A.DC.) A. Chev.) ahşabında uygulanması sonrasında meydana gelen yüzey değişimleri [parlaklık, beyazlık indeksi (WI\*) ve renk] ve shore D sertlik değeri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, varyans analizi testlerinde ağartma kimyasalı türü için  $\parallel$  ve  $\perp 20^\circ$ 'de parlaklık değerlerinin anlamsız olarak belirlenirken, diğer bütün testler anlamlı olarak bulunmuştur. Shore D sertlik değeri 70.30 HD olarak elde edilmiştir.  $\Delta E^*$  değerleri tek komponentlide 4.56 ve çift komponentlide 7.21 olarak tespit edilmiştir. Her iki kimyasallara ait uygulamalar ile  $60^\circ$  ve  $85^\circ$ 'lerde liflere paralel ve dik yöndeki parlaklık değerleri azalmış,  $L^*$ ,  $b^*$  ve  $C^*$  değerleri ise artmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bulletwood, ağartma, oksalik asit, hidrojen peroksit, renk, sodyum hidroksit, parlaklık

<sup>a</sup> peker100@artvin.edu.tr

<sup>c</sup> esmeraldaesperanza33@gmail.com

<sup>e</sup> leventgurleyen@hotmail.com

<sup>ID</sup> 0000-0002-7771-6993

<sup>ID</sup> 0000-0002-6787-7822

<sup>ID</sup> 0000-0002-6867-8059

<sup>b</sup> elifbilginer46@gmail.com

<sup>d</sup> osmancamlibel@kku.edu.tr

<sup>f</sup> mail

<sup>ID</sup> 0009-0009-5455-4408

<sup>ID</sup> 0000-0002-8766-1316

<sup>ID</sup> ORCID

**How to Cite:** Peker H, Bilginer EH, Ayata Ü, Çamlıbel O, Gürleyen L (2023) Application of Oxalic Acid and Hydrogen Peroxide+Sodium Hydroxide Bleaching Chemicals on Bulletwood (Manikara bidentata (A.DC.) a. Chev.), Journal of Engineering Faculty, 1(2): 48-54.

## Giriş

Bullet (*Manilkara bidentata* (A.DC.) A.Chev.) ağaç türü Meksika'da Chicozapote, Porto Riko'da ve Dominik Cumhuriyeti'nde Ausubo, Panama'da Nispero, Guyana'ya da Beefwood, Surinam'da Bolletri, Fransız Guyanası'nda Balata rouge ve Brezilya'da Macaranduba olarak bilinmektedir [1]. Bu ağaç Batı Hint Adaları, Orta Amerika ve kuzey Güney Amerika'ya özgüdür. Guianas ve Batı Hint Adaları, Trinidad, Guadeloupe, Martinik, St. Vincent, Dominik Cumhuriyeti, Porto Riko, Grenada, St. Lucia, Dominica ve Karayipler'deki diğer küçük adalar aracılığıyla yaygın olarak dağıtılmaktadır. Ağaç kuzey Brezilya, Peru, Venezuela ve Panama'da da yaygındır [2]. Bu ağaç balata zamkının kaynağıdır [3] ve Sapotaceae familyasına ve Magnoliopsida sınıfına ait olan *Manilkara* cinsinin en iyi bilinen türlerinden biridir [4]. Bu ağacın büyümesi fidan aşamasında yavaştır ve olgunluk boyunca kutup aşamasında yavaş ila orta arasındadır. Yükseklik 1 yılda yaklaşık 0.3 m ve 5 yılda yaklaşık 4.5 m'dir [5].

Fiziko-grafik olarak yamaçlarda ve düzlüklerde, koylarda bulunur. Trinidad'da tepelerde yaygındır ve Porto Riko'da en iyi gelişimini alüvyonlu ovalarda elde eder. Surinam'da nehir kıyılarında yaygındır [6]. Porto Riko'da, beyaz mükemmel çiçekler, yağmurlu mevsimin başında, özellikle Mayıs'tan Ağustos sonuna kadar, ara sıra geç sonbaharda çiçek açan bir sap üzerinde yıllık olarak taşınır. Meyveler sonbahar boyunca gelişir, başlıca meyve dökümü kış ve erken ilkbaharda gerçekleşir. Porto Riko'nun Subtropikal Islak Ormanı'nda 0.5 m<sup>2</sup>'lik elek sepetlerinden oluşan rastgele yerleştirilmiş toplama istasyonlarında bu ağaç, 39 ayda yaklaşık 70 meyve düşürdüğü bildirilmiştir [7].

Öz odun kesildiğinde açık kırmızıdır ve kurduğunda koyu kırmızımsı kahverengiye döner. Diri odun beyazımsı ila soluk kahverengidir. Ahşabı çok sert, güçlü, ince dokulu ve ağırdır. Delik delme işlemi için mükemmel, planya için uygun ve tornalama için zayıftır [8-10]. Ahşabın çivileme ve vidalama özelliği iyidir, ancak ön delme gerektirir; tutkallama sadece dâhili amaçlar için uygundur ve ahşabın yoğunluğu nedeniyle dikkatle yapılması gerekir [5, 11]. Havada kurutmak zordur ve çok hızlı kurutulursa ciddi eğrilme ve bükülme gösterir [1]. Mükemmel buharla bükme özellikleri, onu tekne çerçeveleri ve diğer bükülmüş işler için uygun hale getirir [10]. Bu ağaç, Porto Riko'daki en güçlü ve en çekici ticari ağaçlardan biridir [1, 8].

Bullet odununa ait kullanım alanları olarak; ağır inşaat, tekstil ve kâğıt hamuru değirmeni ekipmanları, mobilya parçaları, tornacılıkta, alet takım kolları, döşeme, tekne ve bot çerçeveleri ve diğer bükülmüş işler, demiryolu, keman yapımında, bilardo sopası [1], elektrik direkleri, çit direkleri, ağır kirişler, deniz ve köprü inşaatı, döşeme, temeller ve büyük ölçüde her türlü marangozluk ve doğrama [12-14] dâhil olmak üzere birçok ek amaç için kullanılır.

Ahşabında, teğet yönde daralma %9.40, radyal yönde daralma %6.30, hacimsel daralma %17.00 [15], eğilme direnci 124.50 N/mm<sup>2</sup>, elastikiyet modülü 24796.00 N/mm<sup>2</sup> [16], eğilme direnci 190.00 N/mm<sup>2</sup>, elastikiyet

modülü 19300.00 N/mm<sup>2</sup>, basınç direnci 87.00 N/mm<sup>2</sup> [15] olarak bulunmuştur.

Ahşabı üzerinde çok iyi bitirme işlemi yapılmakta olup, maun ağacını andırmaktadır. Porto Riko'daki kuru odun termiti *Cryptotermes brevis*'e [17], Panama'daki bazı yeraltı termitlerine karşı oldukça dirençlidir. Ancak deniz sondalarına karşı hassastır. Odun ayrıca beyaz ve kahverengi çürüklük mantarına karşı çok dayanıklıdır [1, 10, 18] ve toprakla temas halinde bile çok dayanıklıdır. Mantarlara, kuru ağaç delicilere ve termitlere karşı çok dayanıklıdır [5, 11, 19]. Ağaç ayrıca güta-perkaya benzeyen balata sakızı için de kullanılır. Bazı bölgelerde ağaçlar 25 yılı aşkın süredir özsu verdiği bildirilmiştir [20]. Kabuğu kusturucudur. Kabuğun kaynatılması ve gövdeden elde edilen bir lateks, dizanteri için etkili bir tedavi olarak kullanılmaktadır [21].

Ağartma ve renk giderimi farklı yollarla meydana gelebilir (konjuge zincirin bölünmesiyle, konjuge zincirdeki bir veya daha fazla çift bağın yok edilmesi veya konjuge zincirdeki diğer parçalardan birinin oksidasyonu). Üç reaksiyondan herhangi birinin sonucu, temel ve uyarılmış durumlar arasındaki enerji boşluğunda bir artıştır, böylece molekül daha sonra ultraviyole bölgesinde ışığı emer ve hiçbir renk üretilmez. Ağartma, reaksiyondan sonra organik bileşiklerin suda çözünürlüğünü de artırabilir [22].

Hidrojen peroksit, tekstil ve sert yüzeylerdeki odun hamuru, kâğıt, ham pamuk ve lekeleri ağartmak için kullanılan çevreye zararsız bir ağartma maddesi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır [23]. Sodyum hidroksit, ahşabı hamur haline getiren ve bazı boya sökücülerde kullanılan güçlü alkali bir kimyasaldır. Bu temizleyiciler, küfün bir yüzey kaplamasına gömüldüğü durumlarda gerekli olabilir; ancak, yalnızca son çare olarak kullanılmalıdır [24]. Ahşabın bileşiklerini oluşturan atomlar, C=C, C=O gibi kromoforik gruplar ve renkle ilgili olarak önemli olan benzen halkası ve oksokrom grupları içerdiğinden, görünür spektrumda seçici absorpsiyon olasılığına sahiptir [25].

Bu çalışmada, farklı ahşap ağartıcı kimyasallarının bulletwood (*Manilkara bidentata* (A.DC.) A.Chev.) ahşabında uygulanması sonrasında meydana gelen yüzey değişimleri araştırılmıştır.

## Materyal Metod

### Materyal

#### Ahşap Malzeme

Bullet (*Manilkara bidentata* (A.DC.) A.Chev.) ağaç türü bu çalışmada seçilmiştir. Deney örnekleri özel bir kereste satıcısından satın alınma yoluyla elde edilmiştir. 10 x 10 x 2 cm boyutlarında hazırlanmıştır. Daha sonra, bu numuneler üzerinde 20±2°C ile %65 bağıl nemde olacak şekilde iklimlendirme uygulamaları yapılmıştır [26].

#### Ağartıcı Kimyasalları

Bu çalışmada, su bazlı tek komponentli (oksalik asit: C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, sıvı, renksiz, kokusuz, pH değeri 2.0±0.5) ve çift komponentli [kokusuz, sıvı, renksiz, çözünür, seyreltici maddesi su, pH değeri 7, hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ve sodyum hidroksit (NaOH)] ağartıcı kimyasalları kullanılmıştır.

### Metot

#### Ağartma Uygulanmasının Yapılması

Bir sünger yardımıyla ahşap malzeme yüzeylerine tek ve çift bileşenli ağartıcı kimyasalları sürme tekniği ile tek kat olarak uygulanmıştır.

#### Testler

##### Parlaklık Özelliklerinin Belirlenmesi

Parlaklık değerleri, ISO 2813 [27] standardının kullanılması ile ETB-0833 model gloss meter cihazında 20°, 60° ve 85°'lerde liflere dik ve paralel yönlerde belirlenmiştir (Şekil 1A).

##### Renk Özelliklerinin Belirlenmesi

Renk parametreleri, ASTM D 2244-3, [28] standardının ve CS-10 (CHN Spec, Çin) [CIE 10° standart gözlemci; CIE D65 ışık kaynağı, aydınlatma sistemi: 8/d (8°/dağılık aydınlatma)] cihazının (Şekil 1B) kullanılmasıyla belirlenmiştir.  $\Delta a^*$ ,  $\Delta C^*$ ,  $\Delta H^*$ ,  $\Delta b^*$  ve  $\Delta L^*$  tanımlamaları [29] Çizelge 1'de ve  $\Delta E^*$  renk farkının görsel değerlendirilmesi için kıyaslama kriterleri [30] Çizelge 2'de sunulmuştur. Aşağıdaki formüller yardımıyla toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar belirlenmiştir.

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (1)$$

$$h_o = \arctan(b^* / a^*) \quad (2)$$

$$\Delta C^* = (C^* \text{ ağartma işlemi görmüş} - C^* \text{ ağartma işlemi görmemiş}) \quad (3)$$

$$\Delta a^* = (a^* \text{ ağartma işlemi görmüş} - a^* \text{ ağartma işlemi görmemiş}) \quad (4)$$

$$\Delta L^* = (L^* \text{ ağartma işlemi görmüş} - L^* \text{ ağartma işlemi görmemiş}) \quad (5)$$

$$\Delta b^* = (b^* \text{ ağartma işlemi görmüş} - b^* \text{ ağartma işlemi görmemiş}) \quad (6)$$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (7)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (8)$$

##### Beyazlık İndeksi ( $WI^*$ ) Özelliklerinin Belirlenmesi

Whiteness Meter BDY-1 (Şekil 1C) cihazı ve ASTM E313-15e1, [31] standardının kullanılması ile liflere paralel ve dik yönlerde beyazlık indeksi ( $WI^*$ ) değerleri belirlenmiştir.

##### Shore D Sertlik Ölçümlerinin Belirlenmesi

Shore D sertlik değeri, 5 kg'lık yük uygulamasına sahip olan shore meter cihazının (Şekil 1D) kullanılması ile ASTM D 2240 [32]'a göre belirlenmiştir.

##### İstatistiksel Analiz

Bir istatistik programı ile çok değişkenli varyans analizleri, minimum ortalamaları, homojenlik grupları, ölçüm değerleri, maksimum ölçüm değerleri, standart sapmaları ve % değişim oranları belirlenmiştir.

Çizelge 1.  $\Delta a^*$ ,  $\Delta C^*$ ,  $\Delta H^*$ ,  $\Delta b^*$  ve  $\Delta L^*$  tanımlamaları [29]

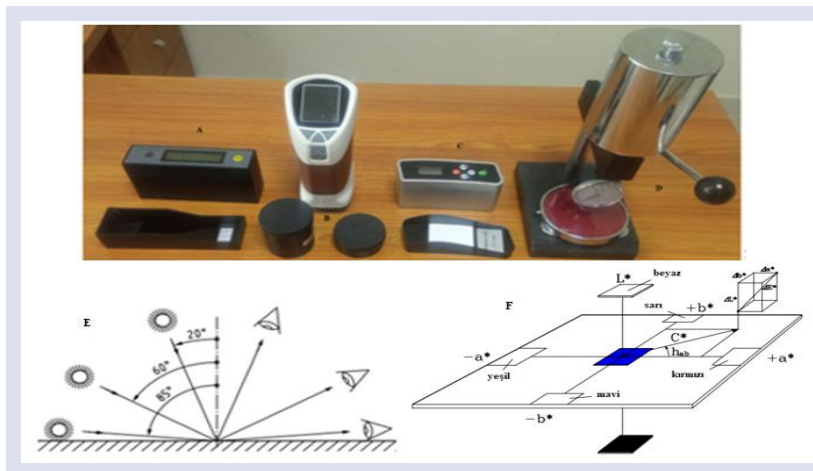
Table 1. Definitions of  $\Delta a^*$ ,  $\Delta C^*$ ,  $\Delta H^*$ ,  $\Delta b^*$ , and  $\Delta L^*$  [29]

Test	Pozitif durumdaki açıklama	Negatif durumdaki açıklama
$\Delta b^*$	Referanstan daha sarı	Referanstan daha mavi
$\Delta L^*$	Referanstan daha açık	Referanstan daha koyu
$\Delta a^*$	Referanstan daha kırmızı	Referanstan daha yeşil
$\Delta C^*$	Referanstan daha net, daha parlak	Referanstan daha bulanık, mat

Çizelge 2.  $\Delta E^*$  için kıyaslama kriterleri [30]

Table 2. Comparison criteria for  $\Delta E^*$  [30]

Toplam renk farkı ( $\Delta E^*$ )	Görsel renk puanı farkı
<0.2	Algılanamaz
0.2 ila 0.5	Çok zayıf
0.5 ila 1.5	Zayıf
1.5 ila 3.0	Belirgin
3.0 ila 6.0	Çok belirgin
6.0 ila 12.0	Güçlü
> 12.0	Çok güçlü



Şekil 1. Parlaklık ölçüm cihazı (A), renk ölçüm cihazı (B), beyazlık indeksi ölçüm cihazı (C), shore D sertlik ölçüm cihazı (D), ölçüm açıları [33] (E) ve DIN 6174, [34]'e göre CIE-L\*a\*b\* sistemi (F)

Figure 1. Glossiness measurement device (A), color measurement device (B), whiteness index measurement device (C), shore D hardness measurement device (D), measurement angles [33] (E), and CIE-L\*a\*b\* system according to DIN 6174 [34] (F)

Çizelge 3. Shore D sertlik değerine ait sonuç

Table 3. Results for shore D hardness value

Ölçüm Sayısı	Ortalama Ölçüm (HD)	Standart Sapma	Minimum Ölçüm	Maksimum Ölçüm	Varyasyon Katsayısı
10	70.30	1.70	68.00	73.00	2.42

Çizelge 4. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar

Table 4. Results for total color differences

Uygulama	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta C^*$	$\Delta H^*$	$\Delta E^*$	Kıyaslama kriterleri [30]
Tek Komponentli	1.00	3.59	2.64	4.38	0.81	4.56	Çok belirgin (3.0 ila 6.0)
Çift Komponentli	6.75	-1.31	2.18	0.91	2.38	7.21	Güçlü (6.0 ila 12.0)

## Bulgular ve Tartışma

Shore D sertlik değerine ait sonuç Çizelge 3’de verilmiştir. Belirlenmiş olan bu sonuca göre shore D sertlik değeri 70.30 HD olmakta ve 68.00 - 73.00 HD arasında değişmektedir (Çizelge 3).

Çizelge 4’de toplam renk farklılıklarına ait sonuçları verilmiştir.  $\Delta E^*$  değerleri ise tek komponentli uygulama sonrasında 4.56 ve çift komponentli uygulama sonrasında ise 7.21 olarak tespit edilmiştir. Her iki ahşap ağartıcıya ait uygulamalar sonrasında  $\Delta b^*$  (referanstan daha sarı),  $\Delta L^*$  (referanstan daha açık) ve  $\Delta C^*$  (referanstan daha net, daha parlak) değerleri pozitif yönde oldukları belirlenmiştir.  $\Delta a^*$  değerlerinde ise tek komponentlide pozitif (referanstan daha kırmızı) olarak elde edilirken, çift komponentlide negatif (referanstan daha yeşil) olarak bulunmuştur (Çizelge 4). Ayrıca, renk farklarına ait kıyaslama kriterleri (DIN 5033, 1979) ile sonuçlar kıyaslandığında, tek komponentli ağartıcının (oksalik asit) “çok belirgin (3.0 ila 6.0)” kriterini ve çift komponentli ağartıcının (hidrojen peroksit + sodyum hidroksit) ise “Güçlü (6.0 ila 12.0)” kriterini verdiği görülmektedir.

Çizelge 5’de çok değişkenli varyans analizi sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre, ağartma kimyasalı türü için  $\parallel 20^\circ$ ’de ve  $\perp 20^\circ$ ’de parlaklık değerlerinin anlamsız olarak elde edildiği, diğer bütün testlerin ise anlamlı olarak tespit edildiği görülmektedir (Çizelge 5).

Çizelge 6’da parlaklık değerleri (farklı yönler ve dereceler), beyazlık indeksi ( $WI^*$ ) değerleri (farklı yönler) ve renk parametrelerine ait olan ölçüm sonuçları sunulmuştur.

$L^*$  parametresi için en yüksek sonuç çift komponentli ahşap ağartıcı kimyasalı uygulanmış deney grubuna ait örneklerinde (43.95) tespit edilirken, en düşük sonuç kontrol deney grubu örnekleri üzerinde (37.20) elde edilmiştir.  $L^*$  değeri için en yüksek artış oranı %18.15 ile çift komponentli ahşap ağartıcı kimyasalı uygulanmış örnekler üzerinde bulunurken, en düşük sonuç artış oranı %2.69 ile tek komponentli uygulamaya sahip örneklerde görülmüştür (Çizelge 6).

$a^*$  parametresi için en yüksek sonuç tek komponentli ahşap ağartıcı kimyasalına maruz kalmış deney

örneklerinde (14.29) görülürken, en düşük sonuç çift komponentli ağartıcıya sahip deney örneklerinde (9.40) tespit edilmiştir.  $a^*$  değeri için tek komponentli ahşap ağartıcı ile %33.43 oranında artış görülürken, çift komponentli ağartıcı ile %12.23 oranında azalma tespit edilmiştir (Çizelge 6).

$b^*$  değeri için en yüksek sonuç tek komponentli ahşap ağartıcı kimyasalı uygulanmış deney örneklerinde (14.45) belirlenirken, en düşük sonuç kontrol deney grubu örnekleri üzerinde (11.81) bulunmuştur.  $b^*$  değeri için çift komponentli ahşap ağartıcı ile %18.46 ve tek komponentli ağartıcı ile %22.35 oranlarında artışlar elde edilmiştir (Çizelge 6).

$C^*$  değeri için en yüksek sonuç tek komponentli ahşap ağartıcı kimyasalına maruz kalmış deney örneklerinde (20.32) elde edilirken, en düşük sonuç kontrol deney grubu örnekleri üzerinde (15.95) belirlenmiştir. Ayrıca,  $C^*$  değerinde tek komponentli ahşap ağartıcı tarafından %27.40 ve çift komponentli ahşap ağartıcı tarafından ise %5.71 oranında artışlar belirlenmiştir (Çizelge 6).

$h^\circ$  değerine bakıldığında, en yüksek sonuç çift komponentli ahşap ağartıcı kimyasalı uygulanmış örnekler üzerinde (56.11) bulunurken, en düşük sonuç tek komponentli uygulamaya sahip örnekler üzerinde (45.29) görülmüştür.  $h^\circ$  için tek komponentli ahşap ağartıcı ile %5.29 oranında azalış belirlenirken, çift komponentli ile %17.34 oranında artış bulunmuştur (Çizelge 6).

20 derecede liflere paralel ve dik yönlerine ait ölçülen parlaklık değerleri ağartma kimyasalları sonrasında hiç bir değişime uğramadığı görülmektedir. 60 ve 85 derecelere ait olan liflere paralel ve dik yönlerine ait ölçülen parlaklık değerleri ise her iki ahşap ağartıcıları ile azaldıkları belirlenmiştir (Çizelge 6).

$WI^*$  değerlerine bakıldığında tek komponentlide liflere paralel ve dik yönlerde azalışlar elde edilirken (sırasıyla %9.82 ve %3.02), çift komponentli kimyasalın uygulanması sonrasında aynı yönler için artışlar (%105.52 ve %68.74) tespit edilmiştir. Ayrıca, liflere dik yöndeki  $WI^*$  değerleri, liflere paralel yöndekilerden yüksek elde edilmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 7, ağartma uygulaması sonrasında meydana gelen renk değişimleri ile ilgili çalışmaları sunmaktadır.



Çizelge 5. Çok değişkenli varyans analizi sonuçları

Table 5. Results of multivariate analysis of variance

Varyans Kaynağı	Test	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
Ağartma Kimyasalı Türü	Işıklılık ( $L^*$ ) değeri	265.095	2	132.548	236.566	0.000*
	Kırmızı ( $a^*$ ) renk tonu	128.390	2	64.195	253.650	0.000*
	Sarı ( $b^*$ ) renk tonu	39.822	2	19.911	42.303	0.000*
	Kroma ( $C^*$ ) değeri	106.758	2	53.379	99.733	0.000*
	Ton ( $h^o$ ) açısı değeri	641.103	2	320.552	150.735	0.000*
	$\perp 20^o$ 'de parlaklık	0.000	2	0.000	.	**
	$\perp 60^o$ 'de parlaklık	3.371	2	1.685	270.857	0.000*
	$\perp 85^o$ 'de parlaklık	15.819	2	7.909	1334.700	0.000*
	$\parallel 20^o$ 'de parlaklık	0.000	2	0.000	.	**
	$\parallel 60^o$ 'de parlaklık	5.171	2	2.585	207.750	0.000*
	$\parallel 85^o$ 'de parlaklık	184.982	2	92.491	204.475	0.000*
	Beyazlık indeksi dik ( $\perp$ )	104.425	2	52.212	3031.684	0.000*
	Beyazlık indeksi paralel ( $\parallel$ )	86.912	2	43.456	334.468	0.000*
Hata	Işıklılık ( $L^*$ ) değeri	15.128	27	0.560		
	Kırmızı ( $a^*$ ) renk tonu	6.833	27	0.253		
	Sarı ( $b^*$ ) renk tonu	12.708	27	0.471		
	Kroma ( $C^*$ ) değeri	14.451	27	0.535		
	Ton ( $h^o$ ) açısı değeri	57.418	27	2.127		
	$\perp 20^o$ 'de parlaklık	0.000	27	0.000		
	$\perp 60^o$ 'de parlaklık	0.168	27	0.006		
	$\perp 85^o$ 'de parlaklık	0.160	27	0.006		
	$\parallel 20^o$ 'de parlaklık	0.000	27	0.000		
	$\parallel 60^o$ 'de parlaklık	0.336	27	0.012		
	$\parallel 85^o$ 'de parlaklık	12.213	27	0.452		
	Beyazlık indeksi dik ( $\perp$ )	0.465	27	0.017		
	Beyazlık indeksi paralel ( $\parallel$ )	3.508	27	0.130		
Toplam	Işıklılık ( $L^*$ ) değeri	47760.040	30			
	Kırmızı ( $a^*$ ) renk tonu	4077.693	30			
	Sarı ( $b^*$ ) renk tonu	5452.739	30			
	Kroma ( $C^*$ ) değeri	9529.115	30			
	Ton ( $h^o$ ) açısı değeri	74921.544	30			
	$\perp 20^o$ 'de parlaklık	0.300	30			
	$\perp 60^o$ 'de parlaklık	47.220	30			
	$\perp 85^o$ 'de parlaklık	29.580	30			
	$\parallel 20^o$ 'de parlaklık	0.300	30			
	$\parallel 60^o$ 'de parlaklık	79.140	30			
	$\parallel 85^o$ 'de parlaklık	424.070	30			
	Beyazlık indeksi dik ( $\perp$ )	1518.050	30			
	Beyazlık indeksi paralel ( $\parallel$ )	645.120	30			
Düzeltilmiş Toplam	Işıklılık ( $L^*$ ) değeri	280.223	29			
	Kırmızı ( $a^*$ ) renk tonu	135.223	29			
	Sarı ( $b^*$ ) renk tonu	52.531	29			
	Kroma ( $C^*$ ) değeri	121.209	29			
	Ton ( $h^o$ ) açısı değeri	698.521	29			
	$\perp 20^o$ 'de parlaklık	0.000	29			
	$\perp 60^o$ 'de parlaklık	3.539	29			
	$\perp 85^o$ 'de parlaklık	15.979	29			
	$\parallel 20^o$ 'de parlaklık	0.000	29			
	$\parallel 60^o$ 'de parlaklık	5.507	29			
	$\parallel 85^o$ 'de parlaklık	197.195	29			
	Beyazlık indeksi dik ( $\perp$ )	104.890	29			
	Beyazlık indeksi paralel ( $\parallel$ )	90.420	29			

\*: Anlamlı, \*\*: Anlamsız

Çizelge 6. Parlaklık, beyazlık indeksi ( $WI^*$ ) ve renk parametrelerine ait olan ölçüm sonuçlarıTable 6. Measurement results for glossiness, whiteness index ( $WI^*$ ), and color parameters

Test	Ağartma Kimyasalı Türü	Ölçüm Sayısı	Ortalama	Değişim(%)	Homojenlik Grubu	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı
$L^*$	Ağartılmamış	10	37.20	-	C**	0.82	36.15	38.38	2.20
	Tek Komponentli	10	38.20	↑2.69	B	0.61	37.36	39.12	1.60
	Çift Komponentli	10	43.95	↑18.15	A*	0.80	42.74	45.32	1.82
$a^*$	Ağartılmamış	10	10.71	-	B	0.47	9.98	11.40	4.42
	Tek Komponentli	10	14.29	↑33.43	A*	0.64	13.29	15.64	4.50
	Çift Komponentli	10	9.40	↓12.23	C**	0.35	8.93	9.92	3.73
$b^*$	Ağartılmamış	10	11.81	-	B**	0.26	11.41	12.20	2.20
	Tek Komponentli	10	14.45	↑22.35	A*	1.00	13.29	16.82	6.90
	Çift Komponentli	10	13.99	↑18.46	A	0.59	12.62	14.73	4.23
$C^*$	Ağartılmamış	10	15.95	-	C**	0.38	15.39	16.50	2.41
	Tek Komponentli	10	20.32	↑27.40	A*	1.14	18.80	22.96	5.59
	Çift Komponentli	10	16.86	↑5.71	B	0.41	15.93	17.31	2.44
$h^o$	Ağartılmamış	10	47.82	-	B	1.35	45.52	50.40	2.82

	Tek Komponentli	10	45.29	↓5.29	C**	0.93	43.87	47.08	2.06
	Çift Komponentli	10	56.11	↑17.34	A*	1.92	52.37	58.78	3.42
	Ağartılmamış	10	0.10	-	A	0.00	0.10	0.10	0.00
⊥20°	Tek Komponentli	10	0.10	0.00	A	0.00	0.10	0.10	0.00
	Çift Komponentli	10	0.10	0.00	A	0.00	0.10	0.10	0.00
	Ağartılmamış	10	1.66	-	A*	0.08	1.60	1.80	5.08
⊥60°	Tek Komponentli	10	0.86	↓48.19	C**	0.05	0.80	0.90	6.00
	Çift Komponentli	10	1.10	↓33.73	B	0.09	1.00	1.20	8.57
	Ağartılmamış	10	1.70	-	A*	0.00	1.70	1.70	0.00
⊥85°	Tek Komponentli	10	0.14	↓91.76	B**	0.08	0.10	0.30	60.23
	Çift Komponentli	10	0.18	↓89.41	B	0.10	0.10	0.30	57.38
	Ağartılmamış	10	0.10	-	A	0.00	0.10	0.10	0.00
∥20°	Tek Komponentli	10	0.10	0.00	A	0.00	0.10	0.10	0.00
	Çift Komponentli	10	0.10	0.00	A	0.00	0.10	0.10	0.00
	Ağartılmamış	10	2.12	-	A*	0.08	2.00	2.20	3.72
∥60°	Tek Komponentli	10	1.12	↓47.17	C**	0.10	1.00	1.20	9.22
	Çift Komponentli	10	1.46	↓31.13	B	0.14	1.20	1.60	9.79
	Ağartılmamış	10	6.26	-	A*	1.09	4.30	7.20	17.49
∥85°	Tek Komponentli	10	1.09	↓82.59	B	0.32	0.80	1.60	29.16
	Çift Komponentli	10	0.90	↓85.62	B**	0.24	0.70	1.30	26.71
	Ağartılmamış	10	5.63	-	B	0.09	5.50	5.80	1.69
WJ* (⊥)	Tek Komponentli	10	5.46	↓3.02	C**	0.11	5.30	5.60	1.97
	Çift Komponentli	10	9.50	↑68.74	A*	0.18	9.30	9.70	1.86
	Ağartılmamış	10	3.26	-	B	0.12	3.10	3.40	3.60
WJ* (∥)	Tek Komponentli	10	2.94	↓9.82	B**	0.20	2.80	3.30	6.65
	Çift Komponentli	10	6.70	↑105.52	A*	0.58	6.10	7.60	8.67

\*: En yüksek değere ait sonuç, \*\*: En düşük değere ait sonuç

Çizelge 7. Ağartma uygulaması sonrasında meydana gelen renk değişimleri ile ilgili çalışmalar

Table 7. Studies on color changes occurring after bleaching application

Ağaç Türü	Ağartma Maddesi	Uygulama Sonrası Değişim					Kaynaklar
		L*	a*	b*	C*	h°	
Bulletwood	Oksalik asit	↑	↑	↑	↑	↓	Bu çalışma
( <i>Manilkara bidentata</i> (A.DC.) A. Chev.)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↓	↑	↑	↑	
Satinwood ceylon	Oksalik asit	↓	↓	↑	↓	↑	[35]
( <i>Chloroxylon swietenia</i> DC)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↓	↓	↓	↑	
Ilomba	Oksalik asit	↑	↑	↑	↑	↑	[36]
( <i>Pycnanthus angolensis</i> Exell)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↓	↓	↓	↑	
Canelo	Oksalik asit	↑	↑	↑	↑	↑	[37]
( <i>Drimys winteri</i> J.R. Forst. & G. Forst.)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↑	↑	↑	↑	
Lotofa	Oksalik asit	↑	↓	↑	↑	↑	[38]
( <i>Sterculia rhinopetala</i> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↓	↓	↓	↑	
Yalancı akasya	Oksalik asit	↑	↓	↑	↓	↑	[39]
( <i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↓	↓	↓	↓	
Ihlamur	Oksalik asit	↓	↑	↑	↑	↓	[40]
( <i>Tilia tomentosa</i> - Moench.)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↓	↓	↓	↑	
Ekop	Oksalik asit	↓	↑	↑	↑	↑	[41]
( <i>Tetraberlinia bifoliolata</i> Haum.)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↓	↑	↑	↑	
Olon	Oksalik asit	↑	↑	↑	↑	↑	[42]
( <i>Zanthoxylum heitzii</i> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↓	↓	↓	↑	
izombé	Oksalik asit	↓	↑	↑	↑	↑	[43]
( <i>Testulea gabonensis</i> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↓	↑	↑	↑	

## Sonuçlar ve Öneriler

- Bu çalışmada aşağıda verilmiş olan sonuçlara ulaşılmıştır;
- Shore D sertlik değeri 70.30 HD olarak bulunmuştur.
- Her iki kimyasallara ait uygulamalar ile L\*, b\* ve C\* değerleri ise artmış ve 60° ile 85° liflere paralel ve dik yöndeki parlaklık değerleri azalmıştır.
- ΔE\* değerleri tek komponentli uygulama ile 4.56 ve çift komponentli uygulama ile 7.21 olarak elde edilmiştir.

## Kaynaklar

[1] Chudnoff M. Tropical timbers of the World, Agric. Handb. 607. Madison, WI V.5 Department of Agriculture, Forest Service, (1984).

[2] Beard J.S. Provisional list of trees and shrubs of the Lesser Antilles, Caribbean Forester, 5:2 (1944) 48-67.

- [3] Parresol B.R. Basal area growth for 15 tropical tree species in Puerto Rico, *Forest Ecology and Management*, 73:1-3 (1995) 211-219. DOI: 10.1016/0378-1127(94)03486-G.
- [4] Rhourri-Frih B., Renimel I., Chaimbault P., André P., Herbette G., Lafosse M. Pentacyclic triterpenes from *Manilkara bidentata* resin. Isolation, identification and biological properties, *Fitoterapia*, 88 (2013) 101-108. DOI: 10.1016/j.fitote.2013.05.001.
- [5] Burns R.M., Honkala H.B. *Silvics of North America: 2. Hardwoods, Agriculture Handbook 654*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC. vol. 2, 877 p, (1990).
- [6] Schulz J.P. *The vegetation of Suriname, vol. II. Van Eedenfonds, Amsterdam. 266 p, (1960).*
- [7] Estrada P.A. Phenological studies of trees at El Verde, In *A tropical rain forest*, p. D237-269, U.S. Atomic Energy Commission TID-24270. Washington, DC, (1970).
- [8] Little E.L., Jr., Frank H.W. *Common trees of Puerto Rico and the Virgin Islands*, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 249, Washington, DC. 548 p, (1964).
- [9] Longwood F.R. *Puerto Rican woods-their machining, seasoning, and related characteristics*, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 205, Washington, DC. 98 p, (1961).
- [10] Longwood F.R., *Present and potential commercial timbers of the Caribbean*, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 207, Washington, DC. 167 p, (1962).
- [11] Raradis S., Guibal D., Vernay M., Beauchene J., Brancheriau L., Cabantous B., Chalou I., Daigremont C., Detienne P., Fouquet D., Langbour P., Lotte S., Mejean C., Thevenon M.F., Thibaut A., Gerard J. *Tropix 7, Caracteristiques technologiques de 245 essences tropicales et temperées [Technological characteristics of 215 tropical timbers!]*, Nouvelle version de Tropix 6.0, 2008. Montpellier: Cirad, (French and English), (2011).
- [12] Anonim, *Tropical woods*, Ed. 2, 64 pp., illus. New York, (1955).
- [13] Dickinson F.E., Hess R.W., Wangaard F.F. *Properties and uses of tropical woods*, I. *Tropical Woods*, 95 (1949) 1-145.
- [14] Case G.O. *British Guiana timbers*, Ed. 1, 74 pp., London, (1934).
- [15] Comvalius L.B. *Surinamese Timber Species Characteristics And Utilization, Paramaribo / Suriname*, (2001). ISBN: 99914-681-0-2.
- [16] Ravenshorst G., van der Linden M., Vrouwenvelder T., van de Kuilen J.K. *An economic method to determine the strength class of wood species*, *Heron*, 49:4 (2004) 297-326.
- [17] Wolcott G.N. *Inherent natural resistance of woods to the attack of the West Indian dry-wood termite, Cryptotermes brevis Walker*, *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 41 (1957) 259-311.
- [18] Bultman J.D., Southwell C.R. *Natural resistance of tropical American woods to terrestrial wood destroying organisms*, *Biotropica* 8:2 (1976) 71-95.
- [19] Mayorca J., de, *Durabilidad natural de 115 maderas de la Guayana Venezolana*, *Revista Forestal Venezolana*, 15:22 (1972) 27-36.
- [20] Record S.J., Mell C.D. *Timbers of tropical America*, Yale University Press, New Haven, CT. 610 p, (1924).
- [21] DeFilippis R.A., Maina S.L., Crepin J. *Medicinal Plants of the Guianas (Guyana Surinam, French Guiana)*, Department of Botany, National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, (2004) p. 477.
- [22] Farr J.P., Smith W.L., Steichen D.S. *Bleaching Agents*, *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, (2003). DOI: 10.1002/0471238961.1921182206011818.a01.
- [23] Kirk R.E., Othmer D.F., Kroschwitz J.I., Howe-Grant M. *Encyclopedia of chemical technology*, (Vol. 10). (1991), Wiley.
- [24] Williams S.R. *Wood handbook, chapter 16: Finishing of wood*, *General technical report FPL-GTR-556*, 190, (2010) 1-37.
- [25] Hemmasi K. *The bleaching of decorated flat wood material*, *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*, 5:5 (2017) 22-27.
- [26] TS ISO 13061-1, *Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 1: Fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (2021).
- [27] ISO 2813, *Paints and varnishes - determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, (1994).
- [28] ASTM D 2244-3, *Standard practice for calculation or color tolerances and color, differences from instrumentally measured color coordinates*, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2007).
- [29] Lange D.R. *Fundamentals of Colourimetry - Application*, Report No. 10e. DR Lange: New York, NY, USA, (1999).
- [30] DIN 5033, *Deutsche Normen, Farbmessung, Normenausschuß Farbe (FNF) im DIN Deutsches Institut für Normung eV, Beuth, Berlin März, (1979).*
- [31] ASTM E313-15e1, *Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates*, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2015).
- [32] ASTM D 2240, *Standard test method for rubber property-durometer hardness*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, United States, (2010).
- [33] ISO 2813, *Paints and varnishes - Determination of gloss value at 20°, 60° and 85°*, Standard, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, (2014).
- [34] DIN 6174, *Colorimetric evaluation of colour differences of surface colours according to the CIELAB formula*, (1979).
- [35] Ayata Ü., Çamlıbel Ç. *İç ve dış mekânda kullanılan Satinwood ceylon (Chloroxylon swietenia DC) ahşabında ağartma uygulamasının yapılması üzerine bir çalışma*, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, (2023).
- [36] Ayata Ü., Bal B.C. *Ilomba (Pycnanthus angolensis Exell) odununda bazı yüzey özellikleri üzerine çeşitli ağartıcı kimyasallarının uygulanması*, *European Conferences 2. Uluslararası Sağlık, Mühendislik Ve Uygulamalı Bilimler Kongresi*, 4-6 Ağustos 2023 Belgrad, 95-105.
- [37] Peker H. *Canelo (Drimys winteri J.R. Forst. & G. Forst.) ahşabında ağartma uygulamaları*, *ICAFVP 3. Uluslararası Tarım, Gıda, Veteriner Ve Eczacılık Bilimleri Kongresi*, 10-12 Kasım 2023, Beyrut, Lübnan, (2023).
- [38] Peker H. *Lotofa (Sterculia rhinopetala) odununda tek ve çift bileşenli ağartıcılarının uygulanması*, *ICAFVP 3. Uluslararası Tarım, Gıda, Veteriner Ve Eczacılık Bilimleri Kongresi*, 10-12 Kasım 2023, Beyrut, Lübnan, (2023).
- [39] Peker H., Ulusoy H., *Ahşap ağartıcı kimyasalları uygulanmış yalancı akasya (Robinia pseudoacacia L.) odununda bazı yüzey özelliklerinin belirlenmesi*, 8. Asya Pasifik Uluslararası Modern Bilimler Kongresi, 11-12 Eylül 2023, Delhi, India, 464-465, (2023).
- [40] Çamlıbel O., Ayata Ü. *Ihlamur (Tilia tomentosa - Moench.) odununda ağartma uygulaması*, *Uzakdoğu 2. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi*, 20-22 Ekim 2023, Manila, Filipinler, 107-116, (2023).
- [41] Çamlıbel O., Ayata Ü. *Ahşap ağartıcı kimyasallarının ekop (Tetraberlinia bifoliolata Haum.) ahşabında uygulanması*, *Uzakdoğu 2. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi*, 20-22 Ekim 2023, Manila, Filipinler, 125-135, (2023).
- [42] Peker, H., Ayata, Ü., *Olon (Zanthoxylum heitzii) odununun bazı yüzey özellikleri üzerine ağartıcı kimyasalların etkileri*, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 6(2) (2023).
- [43] Peker, H., Bilginer, E.H., Ayata, Ü., Gürleyen, L., Çamlıbel, O., *İç ve dış mekânlara ait tasarımlarda kullanılan izombé (Testulea gabonensis) ahşabında farklı ahşap ağartıcı kimyasallarının uygulanması*, 2. Uluslararası Kültür, Sanat ve İletişim Sempozyumu (UKSANİL 2), Bayburt, 15-17 Aralık 2023, (2023).





## Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle Data in Topographic Maps Production

Ahmet Turan Altun<sup>1,a</sup>, Önder Gürsoy<sup>1,b,\*</sup>

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of , Surveying Engineering, Sivas, 58140, Türkiye

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 07/12/2023

Accepted: 25/12/2023

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### ABSTRACT

In recent years, many different options have been introduced in the acquisition of digital land data. One of them is the collection of numerical data from the land by installing non-metric cameras to Unmanned Aerial Vehicles. In this study, the historical development, characteristics and usage areas of UAVs will be discussed in detail and the techniques used in map production through UAVs will be discussed. This study consists of four chapters in which how the map production is realized by using UAVs and which materials and tools are used. In the introduction, which is the first part of the study, the concepts covered in the study and preliminary information about the study, the purpose and scope of the study are included. In the second part, information about unmanned aerial vehicle (UAV) is given. The third part of the study includes information about remote sensing. In this section, the digital elevation model (SYM) and related standards and methods are discussed in detail. In the fourth section, which is the last section of the study, the accuracy of the data obtained from the UAV in current map production was investigated.

**Keywords:** UAV, Photogrammetry, Topographic map

## İnsansız Hava Aracı Verilerinin Topografik Harita Üretimindeki Doğruluğu

#### Süreç

Geliş: 07/12/2023

Kabul: 25/12/2023

#### Copyright

### Öz

Son yıllarda sayısal arazi verilerinin elde edilmesinde çok farklı seçenekler kullanıma sunulmaya başlanmıştır. Bunlardan biri İnsansız Hava Araçlarına metrik olmayan kameraların monte edilmesi yoluyla araziden sayısal verilerin toplanmasıdır. Bu çalışma kapsamında, İHA'ların tarihsel gelişimi, özellikleri, kullanım alanları ayrıntılı şekilde ele alınarak, İnsansız Hava Araçları vasıtasıyla harita üretiminde hangi tekniklerden yararlandığı ele alınacaktır. İnsansız Hava Araçları yardımıyla topografik harita üretiminin nasıl gerçekleştirildiğini, hangi materyal ve araçlardan yararlandığının ele alındığı bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ilk bölümü olan giriş bölümünde, çalışma kapsamında ele alınan kavramlar ve çalışma ile ilgili ön bilgiler, çalışmanın amacı ve kapsamı yer almaktadır. İkinci bölümde insansız hava aracı ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde uzaktan algılama ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Bu bölüm içerisinde Sayısal Yükseklik Modeli ve ilgili standart ve yöntemlere ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise, İnsansız Hava Araçlarından elde edilen verilerin topografik harita üretimindeki doğruluğu araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** UAV, fotogrametri, topografik harita

<sup>a</sup> aturanaltun@gmail.com

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1531-135X>

<sup>b</sup> ogursoy@cumhuriyet.edu.tr

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1531-135X>

**How to Cite:** Altun AT, Gürsoy Ö (2023) Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle Data in Topographic Maps Production, Journal of Engineering Faculty, 1(2): 55-65

## Giriş

İnsansız hava araçları (İHA), öncelikli olarak askeri amaçlar için kullanılmaya başlanan önemli teknolojilerden biridir. Başta askeri amaçlar için kullanılan bu teknoloji günümüzde jeolojiden, meteorolojiye, haritacılıktan, afet yönetimine varana dek pek çok alanda kullanılmaya başlamıştır. Bu sayılanların dışında daha pek çok alanda kullanılan [1,2,3] İHA'lar son yıllarda bireysel olarak eğlence amaçlı da kullanılmaktadır. Bu hava araçlarına monte edilen dijital kameraların yardımıyla, erişilmesi oldukça zor olan, tehlikeli ve yüksek yerlerde gözlem ve ölçümler yapabilmektedirler. Bu hava araçlarıyla elde edilen görüntüler hassasiyet açısından yersel tekniklerle yarışabilecek niteliğe sahip oldukları geçmişte yapılan pek çok çalışma ve araştırmada gözler önüne serilmiştir [4,5]. Bu açıdan İHA'lar yersel ölçüm tekniklerine uygun olabilecek en gerekli ve önemli alternatiflerden biridir.

Yakın tarihte genel olarak uydulardan elde edilen veriler kullanılmaktaydı. Ancak uydu görüntülerinin hem görüntü kalitesi açısından hem de hızlilik açısından İHA'larla kıyaslandığında, İHA'ların uydu görüntülerine kıyasla bazı üstünlüklerinin olduğunu söylemekte yarar vardır. Optik Uydu görüntüleriyle imkânsız olan konumsal çözünürlükler, İHA'ların yardımıyla daha iyi görüntü elde edilebilmektedir. Ayrıca İHA'larla anında görüntü elde edilebilmektedir. Uydulardan görüntü elde edebilmek için bir takım prosedür, hava koşulları, maliyet, görüntü alma sırası vb. sebepler dikkate alındığında İHA'ların uydulara kıyasla daha avantajlı olduğu açık bir şekilde görülmektedir.

İHA'lara monte edilen dijital kameraların görüntü ve fotoğraf alımı için özel bir yazılım bulunmaktadır. Böylece görüntü ölçeği ve kamera odaklanacağı uzaklık ve yükseklik hesaplanıp sabitlendikten sonra uçuş gerçekleştirilir. Kamera perspektif noktaları, görüntü yönlendirme amacıyla kullanılır. Kalkış ve iniş işlemleri, kullanılan araç ve karakteristiklerle doğrudan bağlantılıdır. Genel olarak İHA'lar uzaktan kumanda ile yerden kontrol edilir. Uçuş sırasında, platform normal olarak pozisyon, hız, mesafe, yakıt durumu, rotor hızı vb. gerçek zamanlı uçuş verilerini gösteren bir kontrol istasyonundan gözlemlenir [6].

Pek çok avantajı ve maliyet açısından da İHA'ların hesaplı olması, askeri alanlar dışında, günümüz iş dünyası ve kamu kurum ve kuruluşları da İHA'lardan sık bir şekilde yararlanılmaktadır. Özetle; İHA'lar yardımıyla gerçek zamanlı ve çözünürlükleri yüksek olan fotoğrafların ve görüntülerin elde edilebilmesi mümkün olabilmektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle beraber günümüzde uzaktan algılama ve fotogrametri ile elde edilen verilerde, üretim platformu olarak İHA'lar kullanılmaya başlanmıştır. Maliyetin düşük olması, hızlilik, yüksek çözünürlük ve tekrarlı uçuş kabiliyeti yardımıyla İHA'lar ulaşılması güç olan alanlarda da tercih edilmektedir. Ayrıca İHA'lar, insanların girmelerinin olanaksız ve tehlikeli olduğu yerlerde, kolay bir şekilde ölçüm yapılabilmesi için de tercih edilmektedir.

### **Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Kavramı**

SYM'ler topografya analizi için en temel veri kaynaklarının başında gelmektedir. SYM; yirminci yüzyılın ortalarında Profesör Miller tarafından ortaya atılan bir kavramdır. Miller

açısından SYM, topografik niteliğe sahip bir veri tabanıdır [7]. Günümüzde ise SYM'ler, hava fotoğrafları, eş yükseklik eğrileri, uydu verileri gibi oldukça zengin veri kaynakları yardımıyla üretilmektedir [8,9].

### **Ulusal Harita Doğruluk Standartları (NMAS-1947)**

Bu standart 1947'de ABD tarafından haritaların doğruluklarının tespit edilmesi amacıyla geliştirilmiş olan standartlardan biridir. Kalite standartlarının ilk örneği olarak verilebilir ve daha sonraki standartların geliştirilmesinde de kaynak olarak gösterilmektedir. Bu standartlardan en önemli olanı, üzerinde yükseklik eğrisinin olduğu herhangi bir ölçekteki sahip haritalar da testi yapılan alanların maksimum olarak %10'unun hatası eğri aralık değerinin yarısından fazla olamaz [10].

### **Büyük Ölçekli Haritaların Doğruluk Standartları (ASPRS-1990)**

Büyük ölçekli haritaların doğruluk standartları ABD Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliğinin Teknik Özellikler ve Standartlar komitesince geliştirilen standartlardan biridir. Büyük ölçekli haritaların doğruluk standartları, ulusal harita doğruluk standartlarının revize edilmesi sonrasında oluşturulan standartlardan biridir. Hem özel amaçlı hem de mühendislik uygulamaları için hazırlanan büyük ölçekli topografik haritaların ait mekânsal doğruluk tanımlarını da kapsamaktadır. Düşey doğruluğun yatay doğruluğun bir işlevi olduğu düşünülmektedir. Büyük ölçekli haritaların doğruluk standartlarının ana başlıkları kısaca aşağıda sıralanmaktadır [11].

- Bu standartlarda haritalar sınıflara ayrılmıştır,
- Hem yatay hem de düşey doğruluk amacıyla Karesel Ortalama Hata (KOH) hata limitlerinden yararlanır,
- KOH'taki hatalar uzunluk ölçüsü ile tespit edilir. Ulusal harita doğruluk standartlarındaki gibi feet veya metre ölçütlerinden yararlanır,
- Düşey hatalar aynı zamanda yatay hataların bir işlevidir,
- Test noktaları iyi seçilmiş olmalıdır.

### **Ulusal Mekânsal Veri Standartları (FGDC-1998)**

ABD'deki kamu kuruluşlarının oluşturduğu Federal Coğrafi Veri Komitesince (FGDC) mekânsal verilerin doğruluğunun tespiti için hazırlanmış standartlardır. Faaliyet alanı haritalar, sayısal veriler, vektör ve nokta detaylarıdır. Ulusal mekânsal veri standartları "veri kullanılabilirlik standartları" şeklinde sınıflandırılmış ve veri kalitesi, değerlendirme, doğruluk araştırması ve raporlama teknikleri şeklinde de sıralanmıştır. Burada "Mekânsal Veri Doğruluğu İçin Standartlar" NSSDA şeklinde tanımlanmış ve kapsam olarak noktaların doğruluğu, uygulanan yöntemleri incelenmiştir. Ulusal mekânsal veri standartlarının ana başlıkları kısaca aşağıda sıralanmaktadır [10,11]

- NMAS gibi SYM kavramından önce tanımlanmamış, SYM tanımından sonra geliştirilen ve günümüzde de kabul gören doğruluk standartlarından biridir.
- Doğruluk değerleri KOH<sub>z</sub> ve Doğruluk z şeklinde tanımlanmaktadır.

- KOH<sub>2</sub> ve Doğruluk z değerleri metre veya feet olarak belirtilir. NMAS da inch olarak sunulmaktadır.
- Doğruluğun raporlanması %95 güven aralığında olur.
- Hatalar normal dağılımlı olduğunda NMAS Düşey doğruluk için verdiği kriter KOH<sub>2</sub> cinsinde NMAS = 3.2898 × KOH<sub>2</sub> şeklinde hesaplanmaktadır.
- Düşey hatalar NMAS ve ASPRS' deki gibi ötelenerek giderilemez.

### Uzaktan Algılama ile Harita Üretimi Hakkında Yönetmelik (FEMA-2003)

Uzaktan Algılama ile Harita Üretimi Hakkında Yönetmelik'e geçmeden önce uzaktan algılama teknolojisini de ele almakta yarar vardır. Herhangi bir uzaktan algılama teknolojisinin amacı, belirli bir zaman veya zaman diliminde bir haritalama kapsamındaki bazı fiziksel parametrelerin gözlemlenmesini sağlamaktır. Fiziksel alan geniş bir şekilde tanımlanmıştır ve dünyanın biçiminden insan yapımı nesnelere, bitki örtüsüne, atmosferik parametreler gibi pek çok şeyi içermektedir. Mekânsal ve zamansal çözünürlük açısından, benzer geniş bir aralık vardır [12].

#### Topografik Harita

Bir yerin doğal özellikleri, yapay özellikleri ve topografik yapısının yer aldığı ve belirli ölçeklere sahip olan haritalara Hâlihazır harita ya da diğer adıyla "Durum Haritası" adı verilmektedir. Hâlihazır haritalarda doğal alanlar olan orman, nehir, dere vb. alanların ve yapay alanlar olan demir ve kara yolu, enerji nakil hatları, kanallar, binalar vb. alanların topografik yapısı yer almaktadır. Hâlihazır haritalar; yol, su, altyapı (kanalizasyon) ve imar vb. projelerinin düzenlenmesi ve uygulanması, hidroelektrik santral işlemleri, plansız alanlarda yapılaşma ve daha pek çok iş kolu açısından büyük öneme sahip olan altlık haritalardır [13].

#### Ortofoto

Ortofoto; perspektif resimlerdeki, eğiklik ve yükseklik farklarından ötürü görüntülerde karşılaşılan kaymalarının giderilmesi neticesinde elde edilen, harita gibi belli bir ölçeğe sahip fotografik görüntü olarak tanımlanmaktadır. Üzerine kartografik bilgiler olan harita kenar bilgileri, gridler, eş yükselti eğrileri, isimler vb. eklenen ortofotolar, "Ortofoto Harita" şeklinde tanımlanmaktadır. Birçok ortofoto ile oluşturulan tek bir altlığa sahip olan ortofotolar ise "Ortofoto Mozaik" adı verilmektedir. Genel olarak bu foto haritanın üzerine eşyükselti eğrileri de çizilmiştir. Bu haritalarda kullanıcıların kullanımını kolaylaştırmak amacıyla yazılar ve rakamlar ilave edilmiştir. İHA'lar ve diğer hava araçları üretilen bu tip haritalar alışılmış çizgi haritalar şeklinde de kullanıldığını söyleyebiliriz [13].

### Çalışma Alanı ve Yöntemi

Çalışma alanı Cumhuriyet Üniversitesi Yerleşkesi içinde yaklaşık 3 hektarlık alan test sahası olarak seçilmiştir. Çalışma alanı içerisinde Phantom 4 Pro ve Yuneec F520 markalı iki insansız hava aracı kullanılmış ve test alanı içerisinde 6 adet yer kontrol noktası (YKN) işaretlenmiştir (Şekil.1). Çalışma alanı içerisinde nokta konum doğruluğunu ve farklı ticari yazılımların güvenilirliğini araştırmak amacıyla, 11 adet kontrol noktası işaretlenmiştir (Şekil.2). Görüntüler 60 m irtifada %80 boyuna ve %70 enine bindirme şeklinde iki farklı İHA ile uçuşlar yapılmıştır.

#### Arazi ve Büro Çalışmaları

Arazi çalışmaları sırasında daha önce planlanan YKN noktaları arazide tesis edilmiştir (Şekil 14). Daha sonra sırası ile DJI Phantom 4 Pro ve Yuneec Typhoon H520 kullanılarak uçuş yapılmış ve hava fotoğrafları elde edilmiştir (Çizelge.1). Daha sonra Pix4D ve Agisoft Photoscan yazılımlarında değerlendirme işlemleri yapılmıştır. Çalışma alanını kapsayan uçuşlar yapılmadan önce Yer Kontrol Noktaları (YKN) tesisi ve ölçümleri yapılmıştır. Alan içinde 6 adet YKN ve 11 adet Kontrol Noktası işaretlenmiştir (Şekil.3 ve Şekil.4).

#### Kullanılan Alet, Yazılımlar ve İşlem Adımları

Uygulamada ticari İHA fotogrametri yazılımlarının ortofoto üretimi konusunda kullanılabilirlikleri ve sonuç ürünlerinin doğruluğu açısından kıyaslanması gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma yapılmak üzere geniş haritacılık sektöründe kabul edilmiş ve kullanıcı sayısı olarak kendini kanıtlamış iki ticari yazılım olan Agisoft Photoscan ve Pix4D Mapper yazılımları tercih edilmiştir. Her bir yazılım ile belirlenen bir veri setinde bulunan hava fotoğraflarından Yer Kontrol Noktaları (YKN) kullanılarak ortofoto üretilmiştir. Üretilen verilerin doğrulukları için çalışma alanı içerisinde 11 adet kontrol noktaları GNSS Cors-TR ile ölçülmüştür. Daha sonra farklı İHA cihazları ile elde edilmiş hava fotoğrafları iki farklı ticari yazılımda değerlendirilmiş ve noktaların konum doğrulukları test edilmiştir. Yapılan bu çalışma fotogrametrik yöntemle üretilen topografik haritaların doğruluğu açısından önemli rol oynamaktadır. Hem kullanılacak İHA cihazı hemde ticari yazılımların doğrulukları açısından kullanıcılara önemli ölçüde fikir vermektedir.

#### Pix4D Özellikleri

Pix4D Mapper yazılımda İHA ile elde edilen hava fotoğrafları yazılım iş planına göre üç aşamada değerlendirilmektedir. Bunlardan ilki fotoğrafların eşleştirilme aşamasıdır. Daha sonra eşleştirilen pikseller ikinci aşama olan nokta bulutu üretimi ile uçuş yapılan alana ait nokta bulutu verileri üretilmektedir. Üçüncü ve son aşama olan ortomozayik ve SYM üretiminde nokta bulutuna ait yükseklik verileri ile yine nokta bulutuna ait RGB değerleri kullanılarak ortomozayik ve sayısal yükseklik modeli otomatik olarak elde edilmektedir (Şekil.5-7).

Çizelge 1. İHA'lara ait uçuş sonrası bilgiler[4]

Table 1. Post-flight information about UAVs[4]

	DJI Phantom 4 Pro	Yuneec H520
Çekilen Fotoğraf Sayısı	526 adet	326 adet
GSD	1.46 cm	1.76 cm
GCPs KOH	1.5 cm	3.6 cm



Şekil 1. Çalışma Alanı [4]  
Figure 1. Workspace [4]



Şekil 2. Çalışma alanı içinde ve YKN ve Kontrol Noktalarının dağılımları [4]  
Figure 2. Distribution of GCP and Control Points within the work area [4]

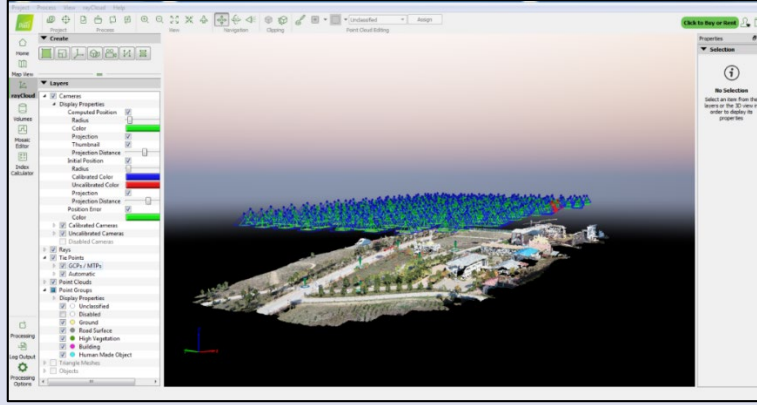


Şekil 3. İşaretlenen YKN görünümü [4]  
Figure 3. Marked GCP view [4]





Şekil 4. İşaretlenen Kontrol Noktası görünümü [4]  
Figure 4. İşaretlenen Kontrol Noktası görünümü [4]



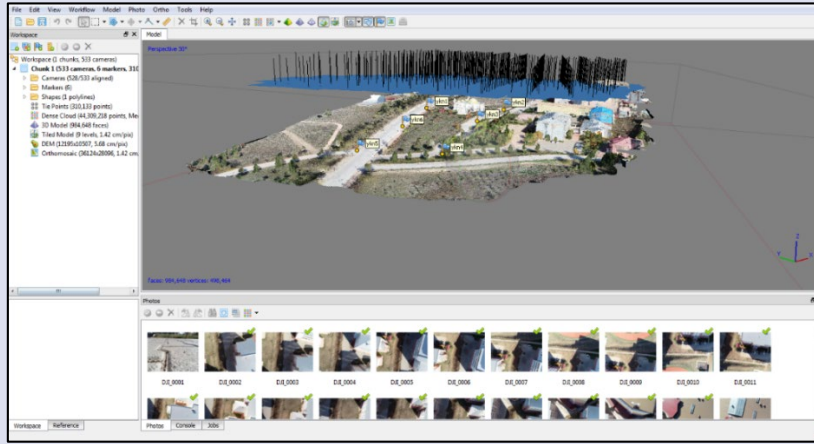
Şekil 5. Pix4D genel görünümü [4]  
Figure 5. Pix4D overview [4]



Şekil 6. Pix4D ile üretilmiş DJI Phantom 4 Pro'ya ait görüntü [4]  
Figure 6. Image of DJI Phantom 4 Pro produced with Pix4D [4]



Şekil 7. Pix4D ile üretilmiş Yuneec H520'ye ait görüntü [4]  
Figure 7. Image of Yuneec H520 produced with Pix4D [4]



Şekil 8. Agisoft Photoscan genel görünümü [4]  
Figure 8. Agisoft Photoscan overview [4]



Şekil 9. Agisoft Photoscan ile üretilmiş DJI Phantom 4 Pro'ya ait görüntü [4]  
Figure 9. Image of DJI Phantom 4 Pro produced with Agisoft Photoscan [4]



Şekil 10. Agisoft Photoscan ile üretilmiş Yuneec H520'ye ait görüntü [4]  
Figure 10. Image of Yuneec H520 produced with Agisoft Photoscan [4]

Çizelge 2. DJI Phantom 4 Pro Özellikleri

Table 2. DJI Phantom 4 Pro Features

Parametre	Özellikleri
Ağırlık	1388 Gram
Max Hız	72 km/s
Pervane Sayısı	4 Tane
Kamera	20 MP – 1" CMOS Sensör ile
Fotoğraf Çözünürlüğü	5472x3648
Uçuş Süresi	Yaklaşık 30 Dk (5870 mAh batarya ile)
Menzil	3500 m
Çalışma Sıcaklığı	0-40 Co
Navigasyon	GPS/GLONASS

Çizelge 3. Yuneec H520 Özellikleri

Table 3. Yuneec H520 Features

Parametre	Özellikleri
Ağırlık	1633 Gram
Max Hız	72 km/s
Pervane	6 Tane
Kamera	20 MP - 1" CMOS Sensör ile
Fotoğraf Çözünürlüğü	5464x3640
Uçuş Süresi	Yaklaşık 25-30 Dk (5250 mAh batarya ile)
Menzil	1600 m
Çalışma Sıcaklığı	-20 +60 Co
Navigasyon	GPS/GLONASS

### Agisoft Özellikleri

Agisoft Photoscan yazılımında ise İHA ile elde edilen hava fotoğrafları daha basit arayüzü ile kullanıcılara temel fotogrametri işlem adımlarını sırası ile yapma olanağı sunarak herhangi bir karışıklıkta işlemlerin bitmeden müdahale olanağı sağlamaktadır. Agisoft Photoscan yazılımı iş planına göre üç ana aşamada değerlendirilmektedir. Bunlardan ilki fotoğrafların eşleştirilme aşamasıdır. Daha sonra eşleştirilen pikseller

ikinci aşama olan nokta bulutu üretimi ile uçuş yapılan alana ait nokta bulutu verileri üretilmektedir. Pix4D yazılımından farklı olarak üretilecek verilerin işlem adımları ayrı ayrı seçilip dışa aktarılır (Şekil. 8-10).

### DJI Phantom 4 Pro Özellikleri

Çalışmada kullanılan İHA sistemi DJI Phantom 4 Pro markalı bir multikopterdir. Pratik, kolay kullanımlı ve düşük maliyetli bir İHA olduğu için küçük alanların görüntü

alımlarında tercih edilmektedir. Yüksek kalitede kameraya sahip olması ve multikopter olarak stabilizasyonun iyi sağlamasından bu araştırmada tercih edilmiştir.

Ayrıca kullanılan İHA sistemi Pix4D Capture yazılımı ile otonom uçuş yapılmış ve hava fotoğrafları koordinatlı (geotag) şekilde elde edilmiştir. Koordinatlı fotoğraflar ortofoto üretimindeki işlem süresini azalttığı için ve fotoğraflardaki eşleşme olasılığını arttırdığı için önemli bir özelliktir.

### Yuneec H520 Özellikleri

Çalışmada kullanılan diğer İHA sistemi ise Yuneec H520 marka hegzakopterdir. Bu İHA sistemi de DJI Phantom 4 Pro gibi oldukça pratik, kolay kullanımlı ve düşük maliyetli bir İHA sistemi olduğu için küçük alanların görüntü alımlarında tercih edilmektedir. Yüksek kalitede kameraya sahip olması ve hegzakopter olarak stabilizasyonun DJI Phantom 4 Pro'ya göre daha iyi sağlamasından bu araştırmada kullanılmıştır.

### Bulgular ve Öneriler

Uygulama için seçilen test sahasında yapılan arazi çalışmalarında yer kontrol noktalarının tesisi sonucu uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Bölgede bina, yollar ve ağaçlar gibi detayların yoğun oluşu uçuş planlaması yaparken daha iyi modelleme oluşturmak için çift yönlü (grid) olarak uçuş gerçekleştirilmiştir. Bu tarz çözümler üretilen verilerin kalitesi ve verimliliği açısından önem taşımaktadır. İHA ile haritalama yöntemlerinde en önemli özellik hızlı ve ekonomik çözümler sunmasıdır. Bunun içinde iş planlaması çok önemli bir süreçtir. İHA ile haritalamada en uygun ve doğru iş akışı aşağıda verilmiştir.

- Çalışma yapılacak alana ait yükseklik modelleri ve uydu görüntüleri ile uçuş öncesi bölgenin durumunu belirlemek.

- Bu arazi çalışması öncesi veriler kullanılarak uygun geometri ve topografyaya bağlı olarak yer kontrol noktalarının (YKN) dağılımları belirlenmelidir.
- Kullanılacak veri kalitesine göre uçuş yüksekliği ve uçuş türü belirlenmelidir.
- Yüksek eğimli arazilerde yer kontrol noktalarının dağılımları ve konumları verilerin doğruluğu açısından önem arz etmektedir.
- Arazide tesis edilen YKN'ler hassas GNSS cihazları ile ölçüm yapılmalıdır. Kullanılan Cors-TR sistemlerindeki doğruluk hassasiyetinden daha az GSD'ye sahip uçuşlar sonucu elde edilen verilerin konum doğrulukları Cors-TR'ninki kadar olacağından fazladan veri yüküne gerek olmaması için bu bilgiler ışığında uçuş yapılması gerekmektedir.
- Uçuşlar gerçekleştirilirken mutlaka kullanılan İHA sistemi görüş açısında olmalıdır.
- Uçuş yapılması planlanan gün içinde güneş ışığının iyi kullanılması bulutluluk oranı, hava sıcaklığı ve meteorolojik durum göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Yapılan çalışma sırasında farklı İHA sistemleri arasında rüzgara karşı direnç özelliklerini sergilerken önemli tecrübeler edinmemizi sağlamıştır. DJI Phantom 4 Pro Yuneec'e göre daha küçük ve dört pervaneli olduğu için ani rüzgar hareketlerine bağlı olarak stabilizasyon sorunları yaşarken, Yuneec H520 daha dirençli duruş sergilemiştir. Bunun en önemli sebebi 6 pervaneli oluşu ve DJI Phantom 4 Pro'ya göre daha ağır oluşudur. Bu artışı sayesinde fotoğraflar daha dengeli ve titreşimsiz çekilmiştir.

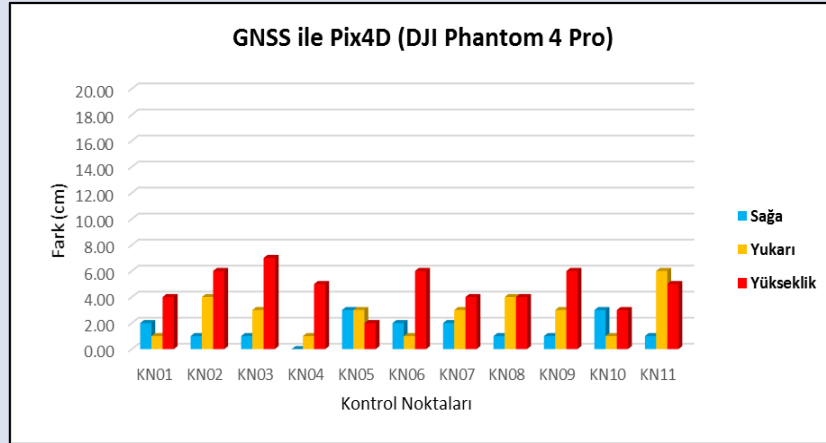
Aşağıda multikopterler ve kullanılan yazılımların karşılaştırılması noktasal bazda yapılmıştır (Çizelge 4-5 ve Şekil 11-14)

Çizelge 4:Hassas GNSS Cors-Tr ile DJI Phantom 4 Pro Farkları [4]

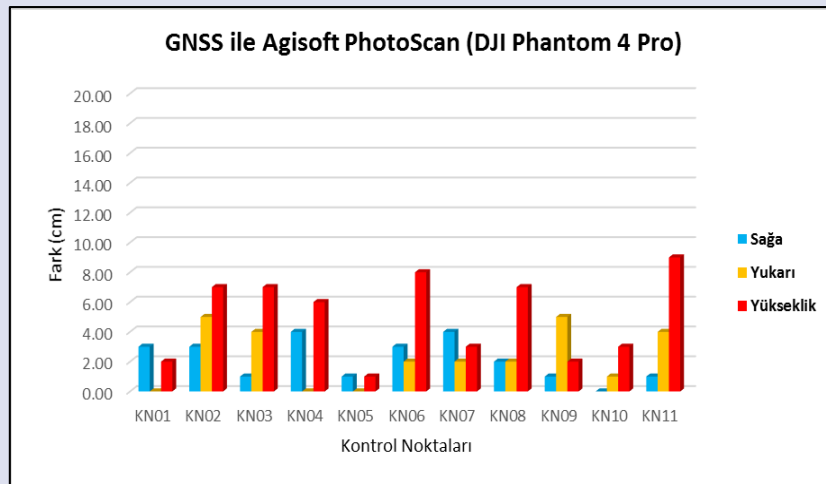
Table 4. Differences between Precision GNSS Cors-Tr and DJI Phantom 4 Pro [4]

Kontrol Noktaları	Farklar (cm)					
	Pix4D			Agisoft Photoscan		
	Sağa	Yukarı	Yükseklik	Sağa	Yukarı	Yükseklik
KN01	2.00	1.00	4.00	3.00	0.00	2.00
KN02	1.00	4.00	6.00	3.00	5.00	7.00
KN03	1.00	3.00	7.00	1.00	4.00	7.00
KN04	0.00	1.00	5.00	4.00	0.00	6.00
KN05	3.00	3.00	2.00	1.00	0.00	1.00
KN06	2.00	1.00	6.00	3.00	2.00	8.00
KN07	2.00	3.00	4.00	4.00	2.00	3.00
KN08	1.00	4.00	4.00	2.00	2.00	7.00
KN09	1.00	3.00	6.00	1.00	5.00	2.00
KN10	3.00	1.00	3.00	0.00	1.00	3.00
KN11	1.00	6.00	5.00	1.00	4.00	9.00





Şekil 11. GNSS ile Pix4D (DJI Phantom 4 Pro) [4]  
Figure 11. Pix4D with GNSS (DJI Phantom 4 Pro)[4]

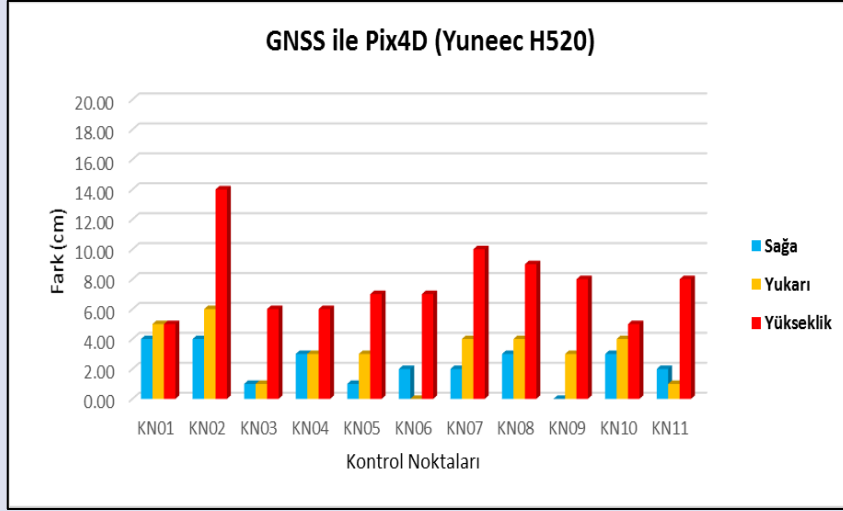


Şekil 12. GNSS ile Agisoft PhotoScan (DJI Phantom 4 Pro) [4]  
Figure 12. Agisoft PhotoScan with GNSS (DJI Phantom 4 Pro) [4]

Çizelge 5: Hassas GNSS Cors-Tr ile Yuneec H520 Farkları [4]

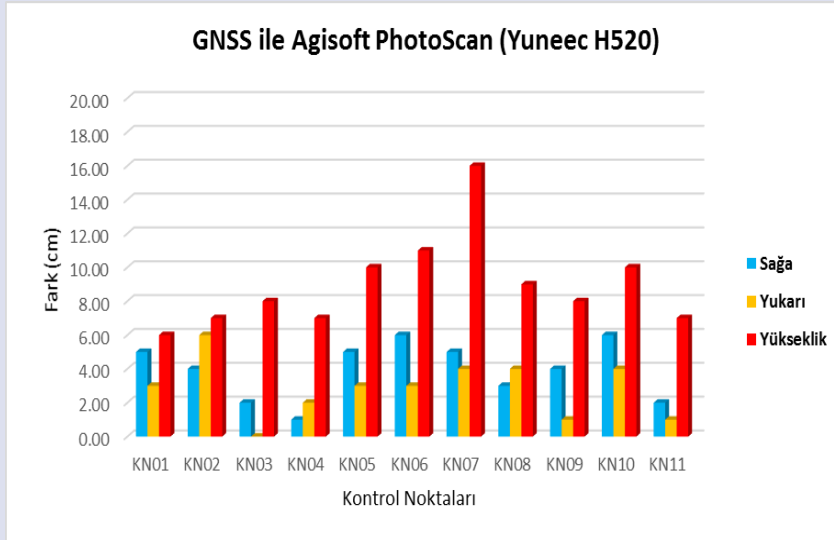
Table 5. Differences between Precision GNSS Cors-Tr and Yuneec H520 [4]

Kontrol Noktası	Farklar (cm)					
	Pix4D			Agisoft Photoscan		
	Sağa	Yukarı	Yükseklik	Sağa	Yukarı	Yükseklik
KN01	4.00	5.00	5.00	5.00	3.00	6.00
KN02	4.00	6.00	14.00	4.00	6.00	7.00
KN03	1.00	1.00	6.00	2.00	0.00	8.00
KN04	3.00	3.00	6.00	1.00	2.00	7.00
KN05	1.00	3.00	7.00	5.00	3.00	10.00
KN06	2.00	0.00	7.00	6.00	3.00	11.00
KN07	2.00	4.00	10.00	5.00	4.00	16.00
KN08	3.00	4.00	9.00	3.00	4.00	9.00
KN09	0.00	3.00	8.00	4.00	1.00	8.00
KN10	3.00	4.00	5.00	6.00	4.00	10.00
KN11	2.00	1.00	8.00	2.00	1.00	7.00



Şekil 13. GNSS ile Pix4D (Yuneec H520) [4]

Figure 13. Pix4D with GNSS (Yuneec H520) [4]



Şekil 14. GNSS ile Agisoft PhotoScan PhotoScan (Yuneec H520) [4]

Figure 14. Agisoft PhotoScan PhotoScan with GNSS (Yuneec H520) [4]

Çizelge 6. Kullanılan yazılımlara ait genel karesel ortalama hatalar [4]

Table 6. General mean square errors of the software used [4]

KOH	DJI Phantom 4 Pro	Yuneec H520
Pix4D Mapper	0.015 m	0.036 m
Agisoft Photoscan	0.063m	0.087m

Verilerin değerlendirilmesi sonucu ortofoto ve sayısal yükseklik modelleri üzerinden elde edilen kontrol noktalarının koordinatları ve Cors-TR ile yapılan ölçümler karşılaştırılmış aralarındaki karesel ortalama hata (KOH) belirlenmiştir. Bu yöntem ölçülerin doğruluk derecesi hakkında en doğru yaklaşımı yapmaktadır. Bu hesaplamada hataların kareleri alındığı için ölçüm içindeki büyük hataların ortalama üzerindeki etkisi daha büyük

olmakta ve bu sayede büyük hataların tüm ölçüm üzerindeki etkisi belirlenebilmektedir.

Yapılan bu çalışmada farklı ticari fotogrametri yazılımları ve farklı İHA sistemleri ile topografik harita yapımına uygunlukları araştırılmıştır. İncelemeler neticesinde aynı bilgisayarda farklı İHA sistemlerinden DJI Phantom 4 Pro ve Yuneec H520 verileri değerlendirildiğinde ticari yazılım olarak Pix4D yazılımı daha iyi sonuç vermektedir (Çizelge 6).

Verilerin değerlendirilmesi sonucu ortofoto ve sayısal yükseklik modelleri üzerinden elde edilen kontrol noktalarının koordinatları ve Cors-TR ile yapılan ölçümler karşılaştırılmış aralarındaki karesel ortalama hata (KOH) belirlenmiştir. Bu yöntem ölçülerin doğruluk derecesi hakkında en doğru yaklaşımı yapmaktadır. Bu hesaplamada hataların kareleri alındığı için ölçüm içindeki büyük hataların ortalama üzerindeki etkisi daha büyük olmakta ve bu sayede büyük hataların tüm ölçüm üzerindeki etkisi belirlenebilmektedir.

Yapılan bu çalışmada farklı ticari fotogrametri yazılımları ve farklı İHA sistemleri ile topografik harita yapımına uygunlukları araştırılmıştır. İncelemeler neticesinde aynı bilgisayarda farklı İHA sistemlerinden DJI Phantom 4 Pro ve Yuneec H520 verileri değerlendirildiğinde ticari yazılım olarak Pix4D yazılımı daha iyi sonuç vermektedir (Çizelge 6).

## Teşekkür

Bu çalışmaya M-755 Numaralı proje ile destek sağlayan SCÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığına teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- [1] Yaghoubi, M.; Ahmed, K.; Miao, Y., (2022) Wireless Body Area Network (WBAN): A Survey on Architecture, Technologies, Energy Consumption, and Security Challenges. *J. Sens. Actuator Netw.*
- [2] Cvetković, A.; Blagojević, V.; Manojlović, J., (2023) Capacity Analysis of Power Beacon-Assisted Industrial IoT System with UAV Data Collector. *Drones*, 7, 146.
- [3] Guevara, B.S.; Recalde, L.F.; Varela-Aldás, J.; Andaluz, V.H.; Gandolfo, D.C.; Toibero, J.M., (2023) A Comparative Study between NMPC and Baseline Feedback Controllers for UAV Trajectory Tracking. *Drones* 2023, 7, 144.
- [4] Altun A.T., (2019). İnsansız Hava Araçları Verilerinden Üretilen Ortogörüntülerin Geometrik Doğruluğunun İncelenmesi Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2019)
- [5] Kahveci, M. ve Can, N. (2017). İnsansız Hava Araçları: Tarihiçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye’de Yasal Durumu, Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Teknik Dergisi, 5(4), 511-535.
- [6] Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. Ve Sarazzi, D. (2011). Uav Photogrammetry For Mapping And 3d Modeling: Current Status And Future Perspectives International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences, 38(22), Isprs Zurich 2011 Workshop, 14-16 September 2011, Zurich, Switzerland, Ss.25-31.
- [7] Miller, C.L. and Laamme, R.A. (1958) The Digital Terrain Model-: Theory & Application. MIT Photogrammetry Laboratory, Cambridge, MA, 20.
- [8] Şahin İ. (2007). Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Ortofoto Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- [9] Arslanbek L. (2009). Farklı kaynaklardan elde edilen sayısal yükseklik modellerinin ortofoto doğruluğuna etkilerinin araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar.
- [10] Esirtgen F. (2010). Farklı Veri Kaynakları İle Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Analizi Ve Kalite Değerlendirmesi Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [11] Yastıklı N. ve Esirtgen F. (2011). Sayısal Yükseklik Modellerinde Kalite Değerlendirme Ve Doğruluk Analizi Tmmob Harita Ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel Ve Teknik Kurultayı 1822 Nisan 2011, Ankara.
- [12] Toth C. ve Jozkow G. (2016). Remote Sensing Platforms And Sensors: A Survey Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing, No: 115, Ss.22–36.
- [13] Erden, Ö. (2006). Hava Fotoğrafları Ve Uydu Görüntüleri İle Dijital Ortofoto Üretimi Ve Kentsel Gelişimin İzlenmesi Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.



## Prediction of Wear Properties of Experimental Produced Porcelain Ceramics Using Artificial Neural Networks (ANN)

Ahmet Gürkan Yüksek<sup>1,a,\*</sup>, Tahsin Boyraz<sup>2,b</sup>, Ahmet Akkuş<sup>3,c</sup>

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

<sup>2</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji Mühendisliği Bölümü

<sup>3</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 13/12/2023

Accepted: 21/12/2023

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### ABSTRACT

In this study, the production and wear properties of porcelain ceramics produced by powder metallurgy method were examined and modelling with artificial neural networks was studied using the experimental data obtained. Porcelain ceramics were prepared by the powder metallurgy route. Mixtures prepared by mechanical alloying method in alumina ball mills were produced by sintering under normal atmospheric conditions after being shaped in a dry press. After drying, the powders were compressed by uniaxial pressing at 200 MPa. The green compacts were sintered at 1100-1200 °C for 1-5 h in air. Then, characterization studies of the sintered samples were carried out and the wear experimental results obtained were converted into data suitable for modelling with artificial neural networks. In the continuation of the study, experimental wear results using artificial neural networks were analysed and modelled. Wear load, wear time, sintering temperature and sintering time were used as artificial neural networks input variables. Wear values were taken as output variables of artificial neural networks. An artificial neural network was established for the prediction of wear properties of porcelain ceramic composites. As a result, the training results and test results were compared with the actual values to control the network performance. A good agreement was observed between the experimental and artificial neural networks model results. After the artificial neural networks estimation, confirmation tests were performed to confirm the experimental results.

**Keywords:** Ceramic; Porcelain; Wear; Artificial Neural Networks.

<sup>a</sup> agyuksekc@cumhuriyet.edu.tr

<sup>c</sup> aakus@cumhuriyet.edu.tr

<sup>ID</sup> 0000-0001-7709-6360

<sup>ID</sup> 0000-0002-6881-9333

<sup>b</sup> tahsinboyraz@cumhuriyet.edu.tr

<sup>ID</sup> 0000-0003-4404-6388

**How to Cite:** Yüksek AG, Boyraz T, Akkuş A (2023) Prediction of Wear Properties of Experimental Produced Porcelain Ceramics Using Artificial Neural Networks (ANN), Journal of Engineering Faculty, 1(2): 66-74

### Introduction

Porcelain is a hard, fine-grained, non-porous and usually translucent, vitrified and white ceramic consisting of kaolin, quartz and a feldspathic structure and fired at high temperatures [1-7]. Ceramic materials can significantly improve the response of components and parts for applications involving contact loadings due to their high hardness, potentially low friction, excellent corrosion resistance and ability to operate under extreme conditions such as high temperatures. The wear of ceramics is anisotropic and is associated with the crystalline structure as in metals [8-20].

Artificial neural networks emerged as a result of mathematical modelling of the learning process taking the

human brain as an example. With artificial neural networks, the working of a simple biological nervous system is imitated. Networks formed by connecting neurons to each other have the capacity to learn, memorize and reveal the relationship between data. In artificial neural networks, the learning process is carried out using examples. During learning, entry and exit information is given and rules are set. Many different prediction models are tested in scientific studies. However, models that are simple, applicable, easy to implement and have the ability to predict accurately are preferred. In neural network based forecasting, an interpretable machine learning tool is important. On the other hand, prediction studies based on experimental data have been increasing rapidly recently [21-29].

Magnified ZnO on p-Si (100) substrate by pulsed filtered cathodic vacuum arc deposition system. Investigated the effects of incident angle on specular reflectance of ZnO thin film which was analysed and modelled using the experimental data and ANN model. To increase resistance to wear, Al7075 alloy is reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic particles. An artificial neural network was established to predict the tribological properties of the produced Al7075-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites. It was seen that there was a good agreement between experimental and ANN model results [30,31]. The model for predicting the mechanical properties of two-phase and three-phase composite ceramic tools such as Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(W, Ti)C and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiC-ZrO<sub>2</sub> was established by means of an artificial neural network. On the basis of the neural network toolbox in MATLAB, the neural network model for predicting the mechanical properties of the ceramic tool was trained to be reliable and the required programs were compiled. It was found from the research results that the established model based on the artificial neural network are available and effective in simulating the composition content and predicting the mechanical properties of the ceramic tool [32].

In this study, the production and wear properties of porcelain ceramics produced by powder metallurgy method were examined and modelling with artificial neural networks was studied using the experimental data obtained. Artificial neural network method is used to anticipate the tribological conduct of porcelain ceramic utilizing neural network tool compartment of MATLAB and then the test and artificial neural network results were compared.

## Materials and Methods

Setting up experimental setups and taking physical measurements in experimental studies may involve some difficulties for many researchers. Experimental results may not be collected on the sample as much as desired due to uncontrollable reasons, financial inadequacies, impossibilities or other reasons. In these cases, this gap is tried to be filled with simulation data. At this point, machine learning algorithms fill an important gap in predicting the results of untested data with patterns learned from data

taken from experiments at certain intervals. This proposed study generates simulation results for new data with very high success by defining the effective aspects of the two basic machine learning theories of the artificial neural network approach, the patterns of an experimental study.

The most important problems of experimental models are experiment costs, setup times, material-device management problems, etc. factors that affect the process of the experiment, such as If the accuracy of the systems that can be simulated with statistical or mathematical models can be improved to support the model, these operations can be performed in the simulation environment. Especially since artificial neural network algorithms are trained on the data or the history of the model, they better models the patterns of the systems.

## Materials production

In this study, the production and wear properties of porcelain ceramics produced by powder metallurgy method were examined and modelling with artificial neural networks were studied using the experimental data obtained. Porcelain ceramics were prepared by the powder metallurgy route. Mixtures prepared by mechanical alloying method in alumina ball mills were produced by sintering under normal atmospheric conditions after being shaped in a dry press. The mixture powders were compacted to preforms of 56x12x10 mm by uniaxial pressing at 200 MPa. The green compacts were sintered at 1100-1200 °C for 1-5 h under air using a heating rate of 5 °C min<sup>-1</sup> in a high temperature furnace (Protherm™ Furnace). Plint brand abrasion tester was used for the abrasion tests of ceramics. Steel disc is used as wear disc. Wear tests were performed on each sample at 5, 10, 15 and 20-minute wear duration and 70, 90, 120 N force. First, the specimen was measured with a precision scale of 0.0001 g, and the amount of wear was determined by measuring again after the specified wear time (Figure 1). Then, characterization studies of the sintered samples were carried out and the wear experimental results obtained were converted into data suitable for modelling with artificial neural networks.

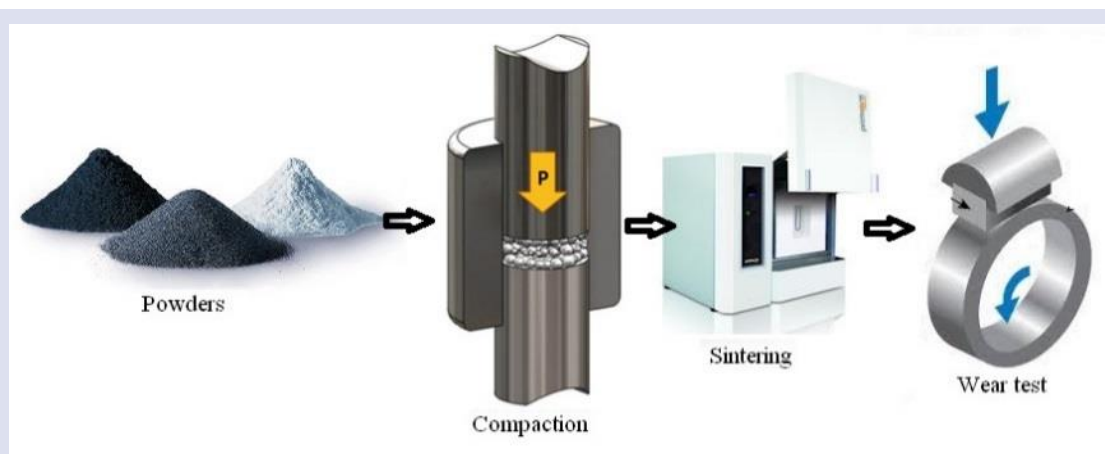


Figure 1. Ceramic production stages

## Machine learning based approach of System Modelling

Artificial Neural Networks is a field of artificial intelligence based on information processing systems learning and producing results by detecting hidden patterns in data rather than using algorithms [33,34]. Systems based on ANN are based on the logic of modelling problem-solving abilities through human experience, intelligence and reasoning. They stand out especially with their ability to solve complex and nonlinear problems. It has distinct advantages in solving real-world problems, preferably non-linear, in many different disciplines. For this reason, it has become an increasingly preferred approach in recent years. Complex calculations, especially those performed on dense data sets, can produce results faster with the effect of learning-based developments in hardware and software theories. Computers with ANN learning capabilities; They are equipped with the ability to make decisions by perceiving the pattern in a data set using mathematical and statistical techniques, which is called learning. These qualities focus on the idea that computers can detect patterns in data and make decisions with less external support and constitute an important sub-branch of artificial intelligence. Instead of codes defining the computer's operations, it defines an algorithm process that is adapted to instantiate the code's intended behaviour. The resulting program consisting of the algorithm and associated learned parameters is considered the trained model. A basic ML learning flow diagram is shown in Fig. 2.

Data scientists have focused on a wide variety of machine learning algorithms based on prediction, classification, and clustering. They try to show that the systems they developed are easier to implement and perform better in many studies than classical statistical approaches. Thus, interest in theories described as innovative and smart is increasing. Unlike classical statistical approaches, ANN uses an algorithm to learn the relationship between the response and its predictors and does not focus on assumptions such as which model to assume, how the response is distributed, and whether the observations are independent. In contrast, the machine learning approach recognizes that the process that

generates data is complex and unknown, tries to learn the response by observing inputs and responses, and deals with determining system parameters to find dominant patterns [35,36].

Particularly in some engineering fields, the difficulties and high costs of setting up experimental setups for different parameters or environmental structures during processes based on experimental studies are known. Challenges such as equipment and material requirements, measurement accuracy, data inconsistency, experiment continuity, parameter adjustment, data analysis complexity, cost and time management reflect the complexity of experimental studies. However, all these mentioned challenges can be solved with good planning, proper resource management and expertise. The ability of machine learning methods to produce and discover new knowledge by learning from data offers an innovative and intuitive approach to experimental studies in overcoming all these difficulties. These approaches, which aim to model parametric values that cannot be realized experimentally with machine learning algorithms, based on the results of experiments carried out with certain parameters under existing or favourable conditions, are accepted in many different disciplines.

A large majority of the studies that produce effective results using ANN theory are on determining the relationship between the dependent variable and one or more independent variables. ANN models are trained with different parameters, and an ANN structure that is capable of best predicting the behaviour of the independent variable at different dependent variable values is tried to be established. The aim of this proposed study is to model the wear behaviour of aluminium titanate and mullite added porcelain ceramics produced by the powder metallurgy method with the ANN approach, to determine the most successful model and to examine the differences on these models. It is to propose a model that will successfully represent the problem at values that cannot be realized experimentally, by using a wide range of experimentally produced data sets with different input parameters.

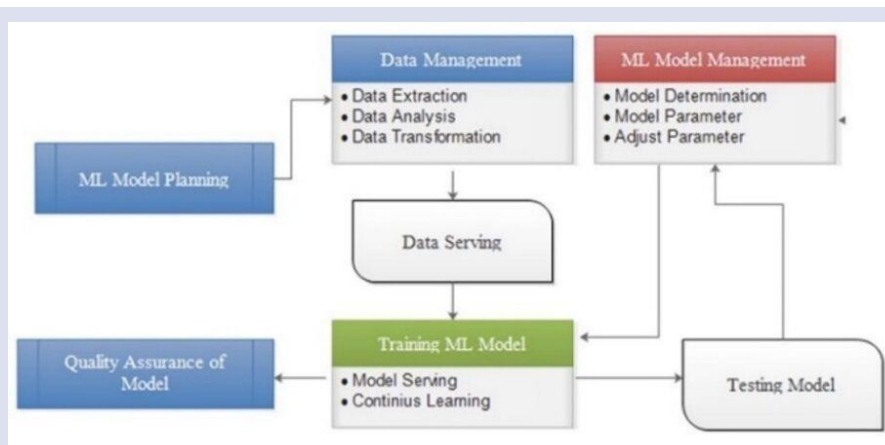


Figure 2. Machine learning flow diagram.



### Artificial Neural Networks (ANN)

The mathematical model of the neural network system of the human brain has constantly attracted the attention of researchers, and as a result of intensive studies, the approach called ANN was developed. ANN is an approach that offers solutions to numerous problems in different disciplines, which have been on the agenda especially in the last quarter century. The most succinct definition of ANN was given by Haykin as a massively parallel combination of simple processing units that can acquire information from the environment through a learning process and store the information in their connections [23]. It is accepted as the representation of the human ability to perform mental activities such as reasoning, making sense, generalizing and learning by a machine capable of processing information. An attempt has been made to model the computational mechanism of the most basic processing element (neuron) that forms the mentioned model and the behaviour of the neuro-physical basic processing element (neuron) of the human brain, which is still not fully understood. In an academic publication they prepared in 1943, McCulloch and Pitt described the properties of the basic neuron type by modelling its behaviour for binary input [37]. In a basic ANN cell, there is an input layer, weight layer, summation function layer, activation function layer and output layer, as seen in Fig. 3.

The data obtained from the inputs is transmitted to the neuron through weight values and determines the value of the input with the effect of the weights. The net value in the neuron is the sum of each input and the product of the weights of this input. This value applied to the activation function determines the neuron output.

The activation function is generally determined as a differentiable nonlinear function [38].

ANN is a system approach that aims to model the parallel and distributed structure of brain cells connected to each other, and is created by artificial nerve cells imitating this model. Its architecture is organized as different layers and the interconnection of processing cells in these different layers (Fig. 4) and can be developed with hardware circuits or software. Similar to the information processing ability of the brain, ANN includes learning algorithms that manage the updating of ANN weights to collect data following a learning phase following the training process, store this data with the weight values formed between cells, and generalize to produce the most appropriate output for the problem being studied [39]. The concept of learning from data, which is the determining power of ANN, includes learning algorithms based on updating the weights connecting neurons in other layers in order to produce the targeted result data.

Backpropagation algorithm is the most preferred algorithm for training feedforward ANNs [40]. It calculates the gradient of the loss function based on the network weights and is more efficient than directly calculating the gradient based on each individual weight. This feature allows the use of gradient methods to rearrange weights at the stage of training multilayer networks and minimizing the loss on them; Variants such as gradient descent or stochastic gradient descent are often used. The purpose of the backpropagation algorithm is to calculate the partial derivatives of the cost function  $C$  (Equation 1) as  $\partial C/\partial w$  and  $\partial C/\partial b$  with respect to any bias  $w$  or  $b$  in the network.

$$C = \frac{1}{2n} \sum_x \|y(x) - a^L(x)\|^2 \tag{1}$$

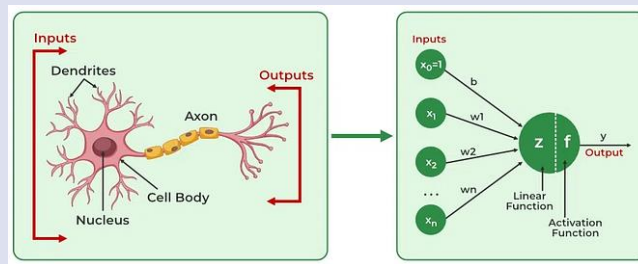


Figure 3. Explaining the Structure of a Neuron and a basic ANN cell.

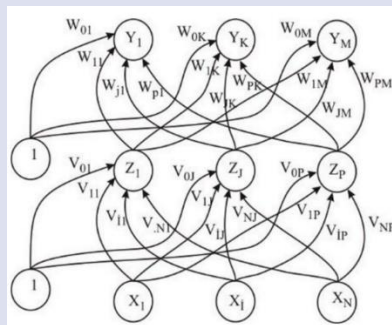


Figure 4. Multilayer feedforward ANN model.

## Design of The Model and Experimental Results

### Data Set Preparation and Experimental System and Data Collection

In this study, using ANN, wear results depending on test time and load were performed on Porcelain data sets, and the results of the experiments that were not available for similar studies were modelled. All the data in this study were collected from this article (T. Boyraz and A. Akkuş, Investigation of wear properties of mullite and aluminium titanate added porcelain ceramics, Journal of Ceramic Processing Research, 2021, 22(2), 226-231) [1]. A total of 108 sets of data points (including sintering time and temperature, load and force applied for the wear test and the amount of wear) were systematically extracted from the experimental information. Some mismatches in the extracted raw data that make them unsuitable for direct use in machine learning algorithms are conditioned by pre-processing.

### Establishing and Application of the Model

The most significant factor on the success of ANN models is that the data set used for training best reflects the problem pattern being studied [21]. Model development processes with ANN are shown in Figure 2. From the perspective of system analysis, the initial part of this flow is the step where the problem is defined, its boundaries are defined, flow maps are determined and the process as control is created, and it is decisive on the flows of the entire model. The data set preparation in the second part is the creation of a data set that can respond to the output results produced by the developed model or system and represent the problem in the best way. In the next steps, using this data set, the model is trained with the parameters that will be given the most optimum value. Determination of parameters is accepted according to the output produced by the model being studied. In the last step, the outputs produced by the established ANN model are compared with the real measurement values by data mining and the success of the model is tested [22]. The parameters constituting the data set used for the training of the ANN model in this study are given in Table 1.

It is necessary to choose the parameters of the model to best represent the pattern structure of the data set on which the models are trained and to reflect the effects of the input data on the model. For this reason, continuous training was carried out by making changes to the parameters for the model that would produce the best output results. To test the outputs of the trained model, the one with the best representation power among the values produced by statistical value measurement units (Mean Absolute Percentage Error (MAPE), Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE) and R Squared ( $R^2$ ) [23]. Regression ( $R^2$ ) coefficient is a statistical measure of the relationship between two variables. RMSE is used in areas such as machine learning and determines the performance of a model by measuring the differences between actual values and predicted values. MAPE is used to evaluate the performance of a prediction model and measures how close it is to the true values, specifically taking into account the percentage error rates of the predictions. MAE is used to evaluate the performance of a forecasting model and refers to the average of the absolute differences between the predictions and the true values. The parameter combination was determined (Table 2).

Before the ANN model started to be trained, the values containing the 15-minute time measurements of the entire data set were initially separated from the data set to be used for training as the "Test Data Set" in order to check the consistency of the model structure developed later. Measurements of 5, 10 and 20-minute time are reserved as "Model Training Set" for the development of the models to be proposed. After the ANN architecture and parameters are determined with the Model Training Set, the success of this model is determined by the outputs produced by presenting the Test Data Set to the model. The important point is that the Test Data Set was not presented to the model during training of the model, it was used to test the success of the model by checking the performance values after the training of the model. The statistical value measurements given in Table 2 reflect the results of checking the models produced with the "Training Data Set" with the "Test Data Set".

Table 1. ANN Model Dataset Parameters.

Parameter Name	Unit	Parameter Structure
Wear Force	Newton	$X_1 \rightarrow$ Input
Wear Time	Minute	$X_2 \rightarrow$ Input
Fired Temperature	$^{\circ}C$	$X_3 \rightarrow$ Input
Fired Time	Hour	$X_4 \rightarrow$ Input
Wear Volume	$mm^3$	$Y_1 \rightarrow$ Output

Table 2. Test data set, Training Data Sets and Statistical value measures for Porcelain.

Model TestData Set		Training Data Set			
	All	Train	Test	Validation	
MAPE	0,3017	0,1150	0,0888	0,2485	0,1060
MAE	2,7719	1,2995	0,9549	2,6017	1,6340
RMSE	3,3311	2,0610	1,3680	3,6624	2,5241
$R^2$	0,7500	0,9347	0,9720	0,8120	0,9249



Fig. 5 shows the Scatter Plot Between Input and Output Data. The "model training set all data" graphs of ANN model results produced for 15-minute time with the model training set are shown in Fig. 6. (a)  $R^2$  graphs, b) Comparison graphs of Actual Value and Outputs Produced by the Model and c) Actual Value and Output Differences (Error) Graph Produced by the Model).

As can be seen from the figures and Table 2, very successful results were obtained in the study conducted with ANN.

In this study, the factors affecting the wear behaviour of porcelain ceramics were analysed quantitatively using ANN. According to the machine learning analysis performed in this study, the applied load ( $X_1$ ) and application time ( $X_2$ ) in the wear test, and the sintering temperature ( $X_3$ ) and time ( $X_4$ ) are the

most critical parameters in estimating the amount of wear(Y). While creating the ANN, the training data set was divided into 4 parts (Training, Testing, Validation and All data set).

Based on the approach of comparing the success of the model with the Test data set and the result produced, a  $R^2$  value of 0,7500 for 15 minute.  $R^2$  value was found to be 0.938 in all data set calculations. The  $R^2$ , MAPE and RMSE values obtained for the ANN model are 0.7500, 0.3017 and 3,3311, respectively, for 15 minute and are within the quite acceptable range. Model success is also observed from the calculation values of other statistical indicators. As can be seen from the graphs in the tables, the distribution of  $R^2$  values and the unity representation of the actual calculated values support the final success of the model.

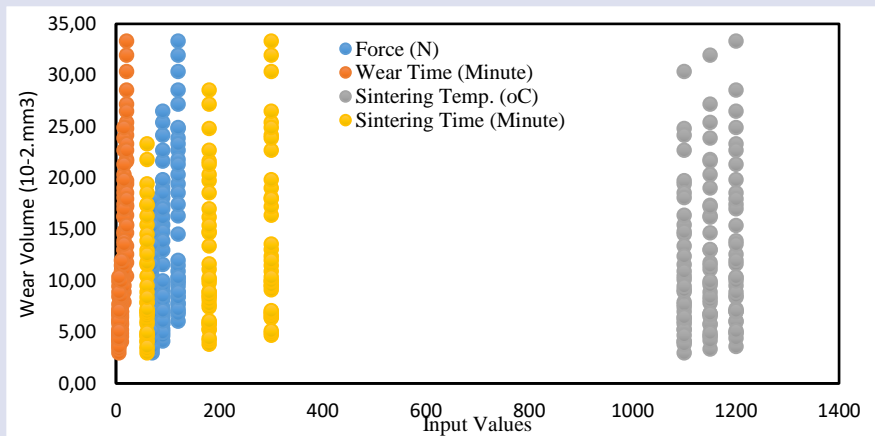


Figure 5. Scatter Plot Between Input and Output Data

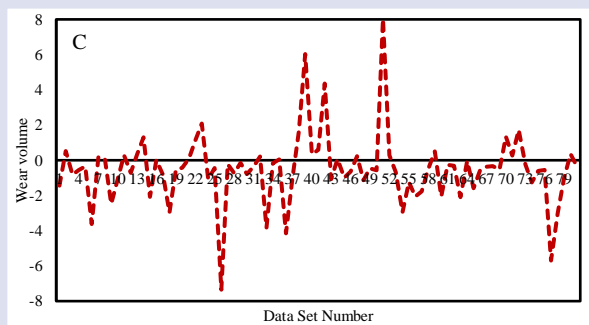
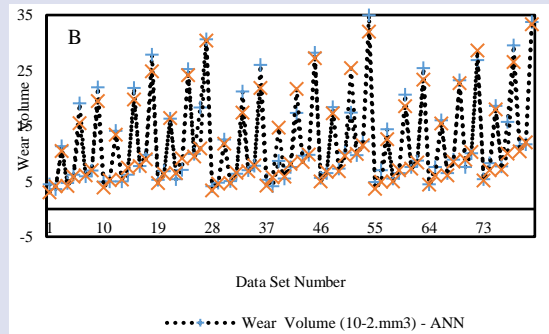
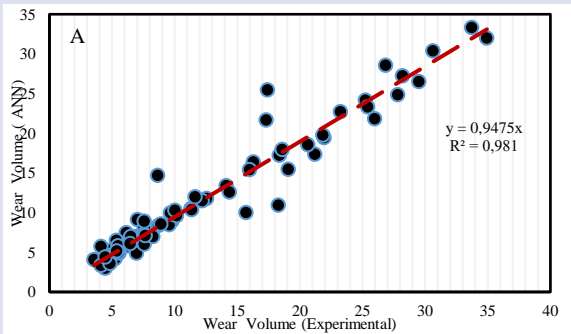


Figure 6. Model Training Set All Data graphs of ANN model results produced for 15-minute time with the model training set; a)  $R^2$  graphs, b) Comparison graphs of Actual Value and Outputs Produced by the Model and c) Actual Value and Output Differences (Error) Graph Produced by the Model.

## Conclusions

Setting up experimental setups and taking physical measurements in experimental studies also bring some problems for researchers. Not being able to perform experiments on the desired number of samples due to some uncontrollable reasons or inadequacies is one of them. In these cases, this gap is tried to be filled with simulation data. At this point, machine learning algorithms fill an important gap in predicting the results of untested data with patterns learned from data taken from experiments at certain intervals. The proposed study produces simulation results for new data with very high success by defining the effective aspects of the basic machine learning theories of the ANN approach, the patterns of an experimental study.

In this study, a highly sensitive machine learning (ML) algorithm based on ANN is introduced to predict the wear properties of porcelain ceramics. Factors affecting wear were quantitatively analysed using ANN. According to the machine learning analysis performed in this study, the applied load ( $X_1$ ) and application time ( $X_2$ ) in the wear test, and the sintering temperature ( $X_3$ ) and time ( $X_4$ ) are the most critical parameters in estimating the amount of wear ( $Y$ ). The predictive model presented in this study not only provides a set of process parameters to obtain the desired wear amount of the produced porcelain ceramics in a practical scenario, it will also shed light on other ceramic material studies.

The results of this study are;

- Porcelain ceramics were produced by powder metallurgy method and their wear properties were tested experimentally. Steel discs were used as wear disc. Wear tests were performed time (0-20 min.) and force (70-120 N) on each sample. As a result of wear tests, the amount of wear increased as the load and time increased.
- The R Squared ( $R^2$ ) values of the outputs produced by the ANN model were sorted using the Test Data Set, Validation Data Set, All Data Set and Training Data Set order and the most appropriate model was selected. According to these results, when the graphic and produced numerical values of the  $R^2$  value, which is the basic indicator, are examined, it is seen that the model succeeds in representing the real system.
- A  $R^2$  value of 0.7500 for 15 minute was achieved based on the approach of comparing the success of the model with the Test data set and the result produced.  $R^2$  value was found to be 0.938 in all data set calculations.
- The  $R^2$ , MAPE and RMSE value obtained for the ANN model are 0.7500, 0.3017 and 3,3311 respectively for 15 minute, which are in the well acceptable range and hence the developed model can be adapted effectively.

Model success is also observed from the computational values of other statistical indicators. As can be seen from the graphics in the tables, the distributions of the  $R^2$  values and the association representation of the actual-calculated values support the final success of the model.

Setting up experimental set-up, managing processes and conducting experiments for varying ranges of parameters in experimental studies can be fraught with difficulties. Factors such as material and equipment requirements, measurement precision, data inconsistencies, experimental continuity, parameter optimisation, data complexity, cost and time management all contribute to the complexity of experimental work. However, these challenges can be overcome with careful planning, resource management and expertise. Machine learning methods bring an innovative and intuitive understanding to these challenges in experiments, offering the ability to learn from data and generate meaningful knowledge. The results of experiments conducted under certain conditions have been accepted in many different disciplines with the expectation that parametric values that cannot be obtained experimentally can be modelled thanks to the data processing capabilities of machine learning algorithms. These approaches are enlightening for similar studies.

## Declaration of interests

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

## References

- [1] T. Boyraz and A. Akkuş, Investigation of wear properties of mullite and aluminium titanate added porcelain ceramics, *Journal of Ceramic Processing Research*, 2021, 22(2), 226-231.
- [2] Ahmet Akkuş and Tahsin Boyraz, 'Fabrication and characterization of aluminium titanate and mullite added Porcelain ceramics', *J. Ceram. Proc. Res.*, 20(1) (2019) 54~58.
- [3] O. Turkmen, A. Kucuk, S. Akpinar, 'Effect of wollastonite addition on sintering of hard porcelain', *Ceram. Inter.* 41[4] (2015) 5505-5512.
- [4] M.Sacli, U. Onen, T. Boyraz, 'Microstructural Characterization and Thermal Properties of Aluminium Titanate / Porcelain Ceramic Matrix Composites', *Acta Physica Polonica A*, 127[4] (2015) 1133-1135.
- [5] S. Kitouni, A. Harabi, 'Sintering and mechanical properties of porcelains prepared from algerian raw materials', *Cerâmica*, 57 (2011) 453-460.
- [6] S.Y.R. Lopez, J.S. Rodriguez, S.S. Sueyoshi, 'Determination of the activation energy for densification of porcelain stoneware', *J. Ceram. Process. Res.* 12 [3] (2011) 228-232.
- [7] J. Martin-Marquez, J.M.a. Rincon, M. Romero, 'Effect of firing temperature on sintering of porcelain stoneware tiles', *Ceram. Int.*, 34 (2008) 1867-1873.
- [8] J. Martin-Marquez, A.G. De la Torre, M.A.G. Aranda, J.M.a. Rincon, M. Romero, 'Evolution with temperature of crystalline and amorphous phases in porcelain stoneware', *J. Am. Ceram. Soc.* 92 (2009) 229-234.

- [9] Y. Iqbal, E.J. Lee, "Microstructural evolution in triaxial porcelain", *J. Am. Ceram. Soc.* 83 (2000) 3121–3127.
- [10] Ahmet Akkuş and Tahsin Boyraz, "Investigation of wear properties of CaO, MgO added stabilized zirconia ceramics produced by different pressing methods", *J. Ceram. Proc. Res.*, 19[3] (2018) 249~252.
- [11] D. H. Buckley, K. Miyoshi, "Friction and wear of ceramics", *Wear*, 100[1–3](1984)333-353.
- [12] Y. Kong, Z. Yang, G. Zhang, Q. Yuan, "Friction and wear characteristics of mullite, ZTM and TZP ceramics", *Wear* 218 (1998)159-166.
- [13] C. Baudín, A.A. Tricoteaux, H. Joire, "Improved resistance of alumina to mild wear by aluminium titanate additions", *J. Eur. Ceram. Soc.*, 34 (2014) 69–80.
- [14] H.Y. Yu, Z.B. Cai, P.D. Ren, M.H. Zhu, Z.R. Zhou, "Friction and wear behavior of dental feldspathic porcelain", *Wear*, 261 (2006) 611–621.
- [15] S. Bueno, L. Micele, C. Melandri, C. Baudin, G. De Portu, "Improved wear behaviour of alumina–aluminium titanate laminates with low residual stresses and large grained interfaces", *J. Eur. Ceram. Soc.*, 31 (2011) 475–483.
- [16] S. Taktak, M.S. Baspinar, "Wear and friction behaviour of alumina/mullite composite by sol–gel infiltration technique", *Materials and Design*, 26 (2005) 459–464.
- [17] H.H. Luo, F.C. Zhang, S.G. Roberts, "Wear resistance of reaction sintered alumina/mullite composites", *Materials Science and Engineering A*, 478 (2008) 270–275.
- [18] Öztürk, Ç., Akpınar, S. & Tığ, M. Effect of calcined colemanite addition on properties of porcelain tile. *J Aust Ceram Soc* 58, 321–331 (2022).
- [19] Serragdj, I., Harabi, A., Kasrani, S. et al. Effect of ZrO<sub>2</sub> additions on densification and mechanical properties of modified resistant porcelains using economic raw materials. *J Aust Ceram Soc* 55, 489–499 (2019).
- [20] Aydın, T., Bican, O. & Gümrük, R. Investigation of wear resistance of the porcelain tile bodies by solid particle impingement using alumina particles. *J Aust Ceram Soc* 56, 525–531 (2020).
- [21] M. Madhiarasan and M. Louzazni, Analysis of Artificial Neural Network: Architecture, Types, and Forecasting Applications, *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2022, V.2022, ID 5416722.
- [22] Shekhawat, P. Agarwal, A. Singh, A. Patnaik, Prediction of thermal and thermo-mechanical behavior of nano-zirconia reinforced aluminium matrix composites, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Materials Science and Engineering Technology)*, 53 (2022) 1216–1228.
- [23] Haykin, S. (1994) *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Macmillan Publishing, New York.
- [24] M. Hassan, A. Alrashdan, M. T. Hayajneh, A. T. Mayyas, Prediction of density, porosity and hardness in aluminium–copper-based composite materials using ANN, *Journal of Materials Processing Technology*, 209/2 (2009) 894–899.
- [25] L. V. Fausett, *Fundamentals of neural networks: architectures, algorithms and applications*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1994.
- [26] J. D. Kelleher, B. Mac Namee, ve A. D'Arcy, *Fundamentals of machine learning for predictive data analytics: algorithms, worked examples, and case studies*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2015.
- [27] E. Guresen ve G. Kayakutlu, Definition of artificial neural networks with comparison to other networks, *Procedia Comput. Sci.*, 3 (2011) 426-433.
- [28] L. Breiman, *Statistical Modeling: The Two Cultures (with comments and a rejoinder by the author)*, *Stat. Sci.*, 16/3 (2001).
- [29] A. Ramanathan, L. L. Pullum, F. Hussain, D. Chakrabarty, ve S. Kumar Jha, "Integrating Symbolic and Statistical Methods for Testing Intelligent Systems Applications to Machine Learning and Computer Vision", içinde *Proceedings of the 2016 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)*, Research Publishing Services, (2016) 786-791.
- [30] A. G. Yuksek, E. T., Senadim S. Elagoz, Modeling of reflectance properties of ZnO film using artificial neural networks, *Journal of optoelectronics and advanced materials*, 17/11-12(2015) 1615-1628.
- [31] R. Pramod, G. B. V. Kumar, P. S. S. Gouda, A.T. Mathew, A Study on the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced Al7075 Metal Matrix Composites Wear behavior using Artificial Neural Networks, *Materials Today: Proceedings*. 5 (2018) 11376–11385.
- [32] C.Z. Huang, L. Zhang, L. He, J. Sun, B. Fang, B.Zou, Z.Q.Li, X. Ai, A study on the prediction of the mechanical properties of a ceramic tool based on an artificial neural network, *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, V.129/1–3(2002) 399-402.
- [33] M. Kubat, *Neural networks: a comprehensive foundation by Simon Haykin*, Macmillan, 1994, ISBN 0-02-352781-7., *Knowl. Eng. Rev.*, 13 (1999) 409-412.
- [34] F. B. Fitch, Warren S. McCulloch and Walter Pitts. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of mathematical biophysics*, 5 (1943)115–133.", *J. Symb. Log.*, 9/ 2, 49-50, 1944.
- [35] L. V. Fausett, *Fundamentals of neural networks: architectures, algorithms, and applications*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1994.
- [36] K. Gurney, *An Introduction to Neural Networks*, CRC Press, 2018.
- [37] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, ve R. J. Williams, Learning representations by back-propagating errors, *Nature*, 323/6088, 533-536, 1986.
- [38] D. Graupe, *Principles of Artificial Neural Networks*, 2. bs, c. 6. içinde *Advanced Series in Circuits and Systems*, vol. 6. WORLD SCIENTIFIC, 2007.
- [39] X. Hu, DB-HReduction: A data preprocessing algorithm for data mining applications, *Appl. Math. Lett.*, c. 16, sy 6, ss. 889-895, Ağu. 2003,
- [40] J. M. González-Sopeña, V. Pakrashi, ve B. Ghosh, An overview of performance evaluation metrics for short-term statistical wind power forecasting, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 138, 110515, 2021,





## A Systematic Literature Review on Custom NER with Evidence-Based Software Engineering

Hakan Kekül<sup>1,a</sup>, Abdulkadir Şeker<sup>2,b\*</sup>

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Technology, Software Engineering, Sivas, Türkiye

<sup>2</sup>Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Computer Engineering, Sivas, Türkiye

\*Corresponding author

### Review Article

#### History

Received: 24/11/2023

Accepted: 08/12/2023

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### ABSTRACT

As the significance of data continues to grow, so does the importance of data analysis methods. Various models are currently being applied, and new models are being proposed all the time. In the context of this study, we conducted a detailed review of Named-Entity Recognition, a data analysis model. We applied the Evidence-Based Software Engineering method, which has been used successfully for many years, as the analysis method. The study analyzed 38 articles selected from a collection of 114 different research articles identified by this method. A detailed presentation of the analyzed data is provided. The study aimed to identify the most effective among the methods using NER. The analysis indicates that BERT was the most successful method in NER studies. It has been found that the "News" domain contains the highest number of NER datasets. The study also provides detailed information on other methods and domains identified. As an original and comprehensive guide, this study serves as an excellent resource for those interested in the field.

**Keywords:** Evidence-based-software-engineering, Named-entity recognition, NER, Custom NER, EBSE

<sup>a</sup> hakankekul@cumhuriyet.edu.tr

<sup>id</sup> 0000-0001-6269-8713

<sup>b</sup> aseker@cumhuriyet.edu.tr

<sup>id</sup> 0000-0002-4552-2676

**How to Cite:** Kekül H, Şeker A (2023) A Systematic Literature Review on Custom NER with Evidence-Based Software Engineering, Journal of Engineering Faculty, 1(2): 75-81

## Introduction

Text data is an important data type whose popularity has increased rapidly with the advancement of information technology [1]. Scientific text data can be obtained from articles, letters, e-mails, social media posts, articles, books and many other sources. These texts are important for many commercial and industrial applications and for interpersonal communication. Textual data analysis and processing focuses on an area known as text mining or natural language processing (NLP). Various extracts from the text are used to understand and manipulate this textual data. Features convert text data into numeric or symbolic values, and enable machine learning algorithms to understand this data. The main features of textual data are word frequency, word distribution, sentiment analysis, and semantic extraction.

Named entity recognition (NER) is one of these attributes. NER represents a very important component in the field of NLP. NER is an automatic process that

identifies specific entities or names in texts [2]. These entities often include specific information such as names of people, place names, organization names, dates, currency units and other proper names. NER is used in text mining and information extraction applications and enables automatic classification of such data. For example, given the sentence "Selçuk Bayraktar is the CEO of Baykar company" in a text document, the proper names identified by NER can be determined as "Selçuk Bayraktar" and "Baykar". Automatic identification of such information allows for better understanding and processing of text data. Applications of NER include text mining, automatic text classification, information extraction, language translation and many more.

"Custom Named Entity Recognition" which has a special place in the attributes of text data, as the name suggests, refers to NER systems that are customized for specific needs and specific applications [3]. Standard NER systems are trained to recognize common names, place names and dates, but for some applications there may be a need to identify specific and unique entities. For



example, it may be necessary to identify a company's specific product names or a special industrial terminology in the content of a document. Custom NER is a NER system that is trained and configured to respond to such specialized needs. This helps professionals working in a specific business or industry to better understand text data and process it more effectively. Custom NER systems offer great flexibility with the ability to define special terms or entities. Particularly used in legal, medical, financial, information security and other specialized fields, Custom NER systems are tailored to the requirements of text data in these specific application areas.

In this paper, we will focus more on the attributes of text data and in particular the importance of Custom NER in text mining and customized analysis applications.

## Related Work

NER involves identifying specific entities, such as individuals, locations, and organizations, within a given text [2]. These entities are pre-defined semantic types and play a crucial role in various natural language applications like question answering, text summarization, and machine translation. NER serves as a fundamental component for these applications by pinpointing and categorizing relevant mentions in the text [4]. Many different libraries and natural language processing tools, such as SpaCy in Python, Apache OpenNLP, and TensorFlow, enable the creation of Named Entity Recognition (NER) systems with pre-trained models that can be imported, used, and customized based on specific requirements [5].

In addition to general NER, there are also domain-specific custom NER studies aimed at solving problems within narrower scopes [6]. Medical literature, published by researchers in the field, contains an enormous amount of information. One of the study proposes a hybrid-based approach for identifying entities from medical literature, leveraging a newly created dictionary for application routes, dosage forms, and symptoms, trained on annotated entities using a blank SpaCy machine learning model [7]. Another paper introduces a chatbot designed to increase crime awareness, utilizing classification and generative models. The chatbot includes spam detection, a system for registering complaints, and a custom named entity recognition model to extract structured information. The primary objective is to provide efficient and user-friendly complaint registration methods using natural language processing, ultimately promoting social good [8]. In a paper used custom NER, it introduces a novel weighted distributional semantic model for unsupervised Named Entity Recognition (NER) in the agricultural domain, addressing challenges such as the absence of annotated data, domain-specific vocabulary, entity ambiguity, and contextual variation [9]. One of the studies that focuses on Turkish text conducts a thorough examination of Turkish named entity recognition, evaluating the performance of state-of-the-art models across diverse datasets to assess their generalization capabilities. The results, backed by statistical tests, reveal

that Transformer-based language models consistently achieve the highest weighted F1 scores, ranging from 80.8% in tweets to 96.1% in news articles [10]. Another study investigates the effectiveness of various word embeddings for the cyber security Named Entity Recognition (NER) task, comparing general-purpose pre-trained word embeddings (both non-contextual and contextual) with task-adapted embeddings fine-tuned on a specific supervised dataset. The findings suggest that, for cyber security NER, fastText outperforms GloVe and BERT in utilizing pre-trained embeddings [11].

## Methodology

There are resources that an expert of any field should refer to in order to solve the problems encountered during his/her professional life. The most effective and fastest of these resources is the scientific literature. However, it is time-consuming and difficult to find the most effective solutions to a particular problem within the scientific literature. The Evidence-Based Medicine (EBM) approach, which is specially proposed in the field of Medicine, where this problem is experienced, has been very successful [12]. According to this approach, a standard is provided to summarize the literature accurately and efficiently for the solution of a problem. After the success of the EBM approach in the field of Medicine, Evidence-based software engineering (EBSE), which aims to reach the fastest and most accurate solutions to the problems that software engineering specialists may encounter throughout their professional lives, has been proposed in the literature. This approach is based on the principles of evidence-based medicine, which have been successfully applied for many years. According to this perspective, a software engineer cannot solve all the problems of his/her professional life with his/her graduation knowledge alone. Therefore, it is important to have access to successful and proven methods for similar problems. This access is possible through the scientific publication of proven methods. However, it is not practical for every expert to review all the publications in detail to analyze a specific problem [13]. Therefore, it is inevitable that the literature in a particular field should be effectively summarized and presented in an organized way. Moreover, there is a requirement for this process to be subject to a standardized procedure in each study. In order to address this challenge, the Evidence-Based Medicine (EBM) approach has been proposed [12].

The successful application of the evidence-based medicine model has led to the questioning of the applicability of this method in different fields. Experimental studies have shown that the method gives successful results in different fields [14]. After the first studies that recommended the use of this method in the field of software engineering [15], different studies have been carried out on how to apply the method to software engineering [16].

For this purpose, Kitchenham et al. were the first to propose the use of this method in a literature review in the field of software engineering [15]. However, this study reflects the point of view of a medical doctor. For this reason, the researchers published a different study in which they added the perspective of a software engineer to the method [16].

The proposed method consists of the following six steps[15].

1. Defining an answerable question.
2. Finding results that provide the best evidence.
3. Critically evaluate the evidence.
4. Integrating critical evaluation with software engineering expertise.
5. Evaluating the process
6. Making inferences for evidence-based software engineering.

In this study, the methodology has been developed and applied by taking these steps into account.

### **Defining Answerable Questions – Research Questions**

In the literature searches carried out during our study, we have tried to answer the following research questions.

RQ 1: What are the most successful models in NER studies?

RQ 2: In which domains are there custom NER studies?

### **Finding the Best Evidence – Search Strategy**

The search process was carried out with the idea that using research questions as search terms may be a more accurate approach. The databases used in the search process are IEEE Xplore (<http://ieeexplore.ieee.org>), ACM Digital Library ([www.acm.org/dl](http://www.acm.org/dl)), ISI Web of Science ([www.isinet.com/products/citation/wos](http://www.isinet.com/products/citation/wos)), Science Direct (<https://www.sciencedirect.com/>), Google Scholar (<http://scholar.google.com>). The articles found were evaluated according to the inclusion and exclusion criteria.

### **Critically Evaluating the Evidence – Inclusion and Exclusion Criteria**

Within the scope of the study, care was taken to include articles that generally complied with our quality assessment rules. The quality assessment criteria defined for this purpose are described in the next section. In addition, it was sought as another criterion that the datasets obtained with the articles should be shared publicly. As a result of the research, a total of 114 articles were identified in different databases. As a result of the analyses carried out separately by the authors, the necessary selection and elimination processes were carried out. The first steps of this analysis eliminate survey studies and duplicate studies. Then, inclusion and exclusion criteria were applied on the remaining articles. As a result of this process, a total of 38 studies were selected.

### **Integrating Critical Assessment with Software Engineering Expertise - Quality Assessment Rules - QARs**

This step is the selection of the final articles to be included in the study. Five quality assessment questions

were used to evaluate the articles. According to these questions, the score of each article for the relevant question was determined in the range of 0 - 1. The quality assessment questions are as follows. We accept papers that get score 3 and above.

QAR1: Is the Sample Source Code for the development of the NER dataset cited?

The answer to this question is scored as 0 or 1.

QAR2: Is there multilingual support?

The answer to this question is scored as 0 for one language, 0.5 for two languages and 1 for more than two languages.

QAR3: Does it support multiple tasks?

The answer to this question is scored as 0 or 1.

QAR4: What is the annual citation average?

This value is calculated as the ratio of the number of citations a publication has received since its year of publication to the number of years it has been in publication, and articles are normalized between 0-1.

QAR5: Are study codes and datasets shared?

The answer to this question is scored as 0 or 1.

### **Evaluation of the Process - Data extraction strategy and synthesis of data**

At this stage of the study, it was evaluated how the selected articles answered the research questions. For this purpose, an information extraction form was created. In this form, the title of the article, the year of publication, the best model and the fields covered were marked. As a result, information on the extent to which the analysed publication contributed to the research questions was collected.

## **Results**

In this section, we discuss the answers to our research questions. We provide a detailed analysis of the answers to our research question in the scientific papers that we included in our literature review. We also provide an overview of the Custom NER field. In this respect, we provide guidance to researchers who want to work in this field. We present detailed analyses of 38 articles selected within the scope of the study. The evaluation results and details of the 38 articles selected according to our Quality Assessment Rules are clearly presented in table 3.

### **What are the most successful models in studies in the field of NER?**

This section aims to answer the question asked in RQ 1: What are the most successful models in NER studies? Four different models stand out among the 38 research articles examined. Additionally, best models could not be determined for some proposed NER models. The information resulting from the analysis is presented in table 1. According to the table, the most used and successful model in the field of NER is BERT. It is also understood that LSTM, Transformers and Word Embedding methods are used predominantly. It is seen that researchers make analyzes with different models. However, it is seen that BERT models produce better results than other models in terms of NER.

Table 1. Best Models

Ref	Best Model
[17] [29] [31] [41] [43]	LSTM
[18] [24] [28] [36]	Transformers
[19] [20] [21] [22] [23] [25] [26] [27] [32] [45] [46] [47] [48] [51]	BERT
[30] [34] [42]	Word Embedding
[33] [35] [37] [38] [39] [40] [44] [49] [50] [52] [53]	Other / Undetermined

Table 2. Domains

Ref	Domain
[17] [23] [24] [25] [27] [29] [32] [33] [34] [35] [36] [40] [44] [50]	News
[18] [19] [41] [45] [46] [47] [48]	Health
[20] [30] [31]	Biomedical
[21] [51]	AI Scientific Papers
[22]	Social Media
[26] [28] [38] [49] [53]	Wikipedia
[43]	Traffic
[52]	Web Sites
[37] [39] [42]	Mix/ Undetermined

Table 3. Selected Research Articles

NER Name	Year	Num. of Cite. (Year)	QAR1	QAR2	QAR3	QAR4	QAR5	TOTAL
CoNLL-2003[17]	2003	203,6190476	1	1	1	0,380952381	1	4,38
BC5CDR[18]	2016	534,5	1	0	1	1	1	4,00
GENIA[19]	2003	67,52380952	1	0	1	0,126330794	1	3,13
BLUE[20]	2019	151,5	1	0	1	0,28344247	1	3,28
SciERC[21]	2018	74	1	0	1	0,138447147	1	3,14
WNUT 2017[22]	2017	51	1	0	1	0,095416277	1	3,10
ONTONOTES 5.0[23]	2013	31,72727273	1	1	1	0,059358789	1	4,06
CoNLL 2002[24]	2003	230,6190476	1	1	1	0,43146688	1	4,43
ACE 2005 [25]	2006	0,944444444	0	1	1	0,001766968	1	3,00
Few-NERD[26]	2021	42	1	0	1	0,07857811	1	3,08
ACE 2004[27]	2005	3,578947368	0	1	1	0,006695879	1	3,01
IPM NEL[28]	2014	46,3	1	0	1	0,086623012	1	3,09
DWIE[29]	2020	11,25	1	0	1	0,021047708	1	3,02
BROAD TWITTER CORPUS[30]	2016	16	1	0	1	0,029934518	1	3,03
CrossNER[31]	2020	21	1	0	1	0,039289055	1	3,04
BioRED[32]	2022	19	1	0	1	0,03554724	1	3,04
BB (Bacteria Biotope)[33]	2019	8,2	1	0	1	0,015341441	1	3,02
CONLL-2000[34]	2000	47,08333333	1	0	1	0,088088556	1	3,09
GUM [35]	2017	41,14285714	1	0	1	0,076974475	1	3,08
GeoWebNews[36]	2019	8,8	1	0	1	0,016463985	1	3,02
MEDIA[37]	2004	3,35	1	1	1	0,00626754	0	3,01
WikiNeuRal[38]	2021	15	1	1	1	0,028063611	1	4,03
AMALGUM[39]	2020	3,75	1	0	1	0,007015903	1	3,01
BC4CHEMD[40]	2015	33,11111111	1	0	1	0,061947822	1	3,06
I2B2 [41]	2020	1	1	0	1	0,001870907	1	3,00
CORD-r[42]	2023	0	1	0	1	0	1	3,00
FUNSD-r[42]	2023	0	1	0	1	0	1	3,00
FindVehicle[43]	2023	0	1	0	1	0	1	3,00
NAAMAPADAM[44]	2023	2	1	1	0	0,003741815	1	3,00
SHARE/CLEF 2014[45]	2014	8	1	0	1	0,014967259	1	3,01
BC7 NLM-CHEM[46]	2022	6	1	0	1	0,011225444	1	3,01
RARE DISEASES [47]	2021	3,333333333	1	0	1	0,006236358	1	3,01
THYME-2016[48]	2016	33,375	1	0	1	0,062441534	1	3,06
BIOGRAPHICAL[49]	2022	2,5	1	0	1	0,004677268	1	3,00
FLUE [50]	2022	17,5	1	0	1	0,032740879	1	3,03
LPSC [51]	2022	0	1	0	1	0	1	3,00
TASTESET[52]	2022	2	1	0	1	0,003741815	1	3,00
STEM-ECR[53]	2020	8,5	1	0	1	0,015902713	1	3,02



### ***In which domains are there Custom NER studies?***

In this section, we focus on answering RQ 2 by trying to determine which domains are used to create the NER dataset. A detailed analysis of the domains covered by the 38 research articles examined within the scope of the research is given in Table 2. As can be seen from here, eight different domains have been identified. Only 3 studies showed that it was not a specific domain but a combination of different domains. Therefore, these articles are assigned to the mix category. If we look at custom domains, it can be seen that the domain with the most NERs is the NEWS category. Health and Wikipedia domains follow. It can be seen that different NER data sets have been created in the biomedical domain. Other domains are Scientific Papers, Social Media, Traffic and Websites.

### **Discussion**

The increase in NER data sets in recent years and attracting the attention of researchers has increased the studies in this field. This study serves as a guide for experts who will conduct research in this field. In this context, a systematic literature analysis of NER studies in different fields has emerged with an evidence-based software engineering approach. Within the scope of the study, 38 research articles were identified. Our study focused on finding answers to two different research questions. As a result of our research, we tried to identify the most successful models used in the NER field. As a result of this research, it was seen that BERT, LSTM, Transformers and Word Embedding methods were used predominantly. It is understood that the most successful and most used model among these models is BERT. The second focus of our study, the question of which domains the NER datasets are created for, is the focus of our second research question. As a result of the analysis, eight different domains were identified. Among these, it can be seen that the domain with the most NER data sets is News. It has been observed that many NER data sets have been created in the health domain, which comes in second place.

### **Conclusion**

Nowadays, when data has reached an incredible size and continues to increase, it is very difficult to analyze data of this size with human power or statistical methods. For this reason, the use of artificial intelligence algorithms in data analysis is common. Many different methods are used to transform unstructured data into a structure that computer systems can understand. NER models are one of these methods. NER models, especially designed specifically for certain areas, have increased their use in recent years. However, new models constantly produced in different domains cause a researcher to spend significant time deciding which model to choose. This study presents an analysis that will reduce research time and provide access to the right resources. With our study,

it has been revealed in which domains data sets were created in the field of NER and which models achieved the highest success values with these data sets. As a result of the analysis, some suggestions were revealed for future studies. The most important of these is that not many NER studies have been found, especially in the field of computer science. For this reason, we recommend that NER be produced in the field of computer science in future studies. In addition, researching how Artificial Intelligence robots, which have become widespread recently, will contribute to the creation of automatic NER is one of the interesting topics.

### **References**

- [1] I. H. Sarker, "Deep Learning: A Comprehensive" Overview on Techniques, Taxonomy, Applications and Research Directions," *SN Comput Sci*, vol. 2, no. 6, pp. 1–20, Nov. 2021, doi: 10.1007/S42979-021-00815-1/FIGURES/6.
- [2] Z. Nasar, S. W. Jaffry, and M. K. Malik, "Named Entity Recognition and Relation Extraction," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 54, no. 1, Feb. 2021, doi: 10.1145/3445965.
- [3] B. Jehangir, S. Radhakrishnan, and R. Agarwal, "A survey on Named Entity Recognition — datasets, tools, and methodologies," *Natural Language Processing Journal*, vol. 3, p. 100017, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.NLP.2023.100017.
- [4] J. Li, A. Sun, J. Han, and C. Li, "A Survey on Deep Learning for Named Entity Recognition," *IEEE Trans Knowl Data Eng*, vol. 34, no. 1, pp. 50–70, Jan. 2022, doi: 10.1109/TKDE.2020.2981314.
- [5] H. Shelar, G. Kaur, N. Heda, and P. Agrawal, "Named Entity Recognition Approaches and Their Comparison for Custom NER Model," 2020, doi: 10.1080/0194262X.2020.1759479.
- [6] L. Stepanyan, "Automated Custom Named Entity Recognition and Disambiguation," *International Journal of Signal Processing*, vol. 5, 2020, Accessed: Nov. 12, 2023. [Online]. Available: <http://iaras.org/iaras/journals/ijsp>
- [7] R. Ramachandran and K. Arutchelvan, "Named entity recognition on bio-medical literature documents using hybrid based approach," *J Ambient Intell Humaniz Comput*, vol. 1, pp. 1–10, Mar. 2021, doi: 10.1007/S12652-021-03078-Z/FIGURES/5.
- [8] S. Surana, J. Chekkala, and P. Bihani, "Chatbot based Crime Registration and Crime Awareness System using a custom Named Entity Recognition Model for Extracting Information from Complaints," *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2021, Accessed: Nov. 12, 2023. [Online]. Available: [www.irjet.net](http://www.irjet.net)
- [9] G. Veena, V. Kanjirangat, and D. Gupta, "AGRONER: An unsupervised agriculture named entity recognition using weighted distributional semantic model," *Expert Syst Appl*, vol. 229, p. 120440, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.ESWA.2023.120440.
- [10] O. Ozcelik and C. Toraman, "Named entity recognition in Turkish: A comparative study with detailed error analysis," 2022, doi: 10.1016/j.ipm.2022.103065.
- [11] S. Srivastava, B. Paul, and D. Gupta, "Study of Word Embeddings for Enhanced Cyber Security Named Entity Recognition,"

- Procedia Comput Sci, vol. 218, pp. 449–460, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.PROCS.2023.01.027.
- [12] D. L. Sackett, W. M. C. Rosenberg, J. A. M. Gray, R. B. Haynes, and W. S. Richardson, "Evidence based medicine: what it is and what it isn't. 1996.," *Clinical orthopaedics and related research*, vol. 455, no. 7023. British Medical Journal Publishing Group, pp. 3–5, 2007. doi: 10.1136/bmj.312.7023.71.
- [13] D. Berry, W. T.-I. T. on Software, and undefined 2003, "Comments on" Formal methods application: an empirical tale of software development", *ieeexplore.ieee.org*, Accessed: Mar. 10, 2023. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1205183/>
- [14] M. Jorgensen, ... T. D.-11th I. I., and undefined 2005, "Teaching evidence-based software engineering to university students," *ieeexplore.ieee.org*.
- [15] B. A. Kitchenham, T. Dybå, and M. Jørgensen, "Evidence-based software engineering," in *Proceedings - International Conference on Software Engineering*, 2004, pp. 273–281. doi: 10.1109/icse.2004.1317449.
- [16] T. Dybå, B. A. Kitchenham, and M. Jorgensen, "Evidence-based software engineering for practitioners," *IEEE Softw*, vol. 22, no. 1, pp. 58–65, Jan. 2005, doi: 10.1109/MS.2005.6.
- [17] E. F. Tjong, K. Sang, and F. De Meulder, "Introduction to the CoNLL-2003 Shared Task: Language-Independent Named Entity Recognition," 2003, Accessed: Nov. 22, 2023. [Online]. Available: <http://cg-www.uia.ac.be/conll2003/ner/>
- [18] J. Li et al., "BioCreative V CDR task corpus: a resource for chemical disease relation extraction," *Database*, vol. 2016, p. 68, 2016, doi: 10.1093/database/baw068.
- [19] J.-D. Kim, Y. Tateisi, J.-D. Kim, T. Ohta, Y. Tateisi, and J. Tsujii, "GENIA corpus-A semantically annotated corpus for biotextmining," *BIOINFORMATICS*, vol. 19, pp. 180–182, 2003, doi: 10.1093/bioinformatics/btg1023.
- [20] Y. Peng, S. Yan, and Z. Lu, "Transfer Learning in Biomedical Natural Language Processing: An Evaluation of BERT and ELMO on Ten Benchmarking Datasets", Accessed: Nov. 22, 2023. [Online]. Available: <https://biocreative>.
- [21] Y. Luan, L. He, M. Ostendorf, and H. Hajishirzi, "Multi-Task Identification of Entities, Relations, and Coreference for Scientific Knowledge Graph Construction", Accessed: Nov. 22, 2023. [Online]. Available: <http://labs.semanticscholar>.
- [22] L. Derczynski, E. Nichols, and M. Van Erp, "Results of the WNUT2017 Shared Task on Novel and Emerging Entity Recognition," pp. 140–147, 2017, Accessed: Nov. 22, 2023. [Online]. Available: <https://stackexchange.com>
- [23] R. Weischedel et al., "Ontonotes release 5.0 ldc2013t19," *Linguistic Data Consortium, Philadelphia, PA*, vol. 23, p. 170, 2013.
- [24] E. F. Tjong Kim Sang, "Introduction to the CoNLL-2002 Shared Task: Language-Independent Named Entity Recognition," in *COLING-02: The 6th Conference on Natural Language Learning 2002 (CoNLL-2002)*, 2002. [Online]. Available: <https://aclanthology.org/W02-2024>
- [25] C. Walker, S. Strassel, J. Medero, and K. Maeda, "Ace 2005 multilingual training corpus-linguistic data consortium," URL: <https://catalog.ldc.upenn.edu/LDC2006T06>, 2005.
- [26] N. Ding et al., "Few-NERD: A Few-shot Named Entity Recognition Dataset," in *ACL-IJCNLP*, 2021.
- [27] A. Mitchell, S. Strassel, S. Huang, and R. Zakhary, "Ace 2004 multilingual training corpus," *Linguistic Data Consortium, Philadelphia*, vol. 1, p. 1, 2005.
- [28] L. Derczynski et al., "Analysis of Named Entity Recognition and Linking for Tweets," Oct. 2014, doi: 10.1016/j.ipm.2014.10.006.
- [29] "ACE 2004 Multilingual Training Corpus - Linguistic Data Consortium." Accessed: Nov. 22, 2023. [Online]. Available: <https://catalog.ldc.upenn.edu/LDC2005T09>
- [30] L. Derczynski, K. Bontcheva, and I. Roberts, "Broad Twitter Corpus: A Diverse Named Entity Recognition Resource," pp. 1169–1179.
- [31] Z. Liu et al., "CrossNER: Evaluating Cross-Domain Named Entity Recognition," 2020.
- [32] L. Luo, P.-T. Lai, C.-H. Wei, C. N. Arighi, and Z. Lu, "BioRED: a rich biomedical relation extraction dataset," *Brief Bioinform*, vol. 2022, no. 5, pp. 1–12, doi: 10.1093/bib/bbac282.
- [33] R. Bossy, L. Deléger, E. Chaix, M. Ba, and C. Nédellec, "Bacteria biotope at BioNLP open shared tasks 2019," in *Proceedings of the 5th workshop on BioNLP open shared tasks*, 2019, pp. 121–131.
- [34] E. F. Tjong, K. Sang, and S. Buchholz, "Introduction to the CoNLL-2000 Shared Task: Chunking," pp. 127–132, 2000, Accessed: Nov. 23, 2023. [Online]. Available: [www.uia.ac.be/conll2000/chunking/](http://www.uia.ac.be/conll2000/chunking/)
- [35] A. Zeldes, "The GUM corpus: creating multilayer resources in the classroom," *Lang Resour Eval*, vol. 51, no. 3, pp. 581–612, Sep. 2017, doi: 10.1007/s10579-016-9343-x.
- [36] M. Gritta, M. T. Pilehvar, and N. Collier, "A Pragmatic Guide to Geoparsing Evaluation," Oct. 2018.
- [37] L. Charnay and ; France-Telecom R&d, "The French MEDIA/EVALDA project: the evaluation of the understanding capability of Spoken Language Dialogue Systems," *J. Goulian*, no. 2.
- [38] S. Tedeschi, V. Maiorca, N. Campolungo, F. Cecconi, and R. Navigli, "WikiNEuRal: Combined neural and knowledge-based silver data creation for multilingual NER," in *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2021*, 2021, pp. 2521–2533.
- [39] L. Gessler, S. Peng, Y. Liu, Y. Zhu, S. Behzad, and A. Zeldes, "AMALGUM -- A Free, Balanced, Multilayer English Web Corpus," Jun. 2020.
- [40] M. Krallinger et al., "The CHEMDNER corpus of chemicals and drugs and its annotation principles," *J Cheminform*, vol. 7, no. S1, p. S2, Dec. 2015, doi: 10.1186/1758-2946-7-S1-S2.
- [41] N. Milosevic, G. Kalappa, H. Dadafarin, M. Azimae, and G. Nenadic, "MASK: A flexible framework to facilitate de-identification of clinical texts," May 2020.
- [42] C. Zhang et al., "Reading Order Matters: Information Extraction from Visually-rich Documents by Token Path Prediction," Oct. 2023.
- [43] R. Guan et al., "FindVehicle and VehicleFinder: A NER dataset for natural language-based vehicle retrieval and a keyword-based cross-modal vehicle retrieval system," Apr. 2023.
- [44] A. Mhaske et al., "Naamapadam: A Large-Scale Named Entity Annotated Data for Indic Languages".

- [45] D. L. Mowery et al., "Task 2: ShARe/CLEF eHealth Evaluation Lab 2014".
- [46] T. Almeida, R. Antunes, J. F. Silva, J. R. Almeida, and S. Matos, "Chemical identification and indexing in PubMed full-text articles using deep learning and heuristics," Database, vol. 2022, 2022, doi: 10.1093/database/baac047.
- [47] H. Dong, V. Suárez-Paniagua, H. Zhang, M. Wang, E. Whitfield, and H. Wu, "Rare Disease Identification from Clinical Notes with Ontologies and Weak Supervision", Accessed: Nov. 21, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/hanxiao/bert-as-service>
- [48] S. Bethard, G. Savova, W.-T. Chen, L. Derczynski, J. Pustejovsky, and M. Verhagen, "SemEval-2016 Task 12: Clinical TempEval", Accessed: Nov. 21, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/stylarw/thymedata>
- [49] T. Ranasinghe, S. Jones, C. Orăsan, and R. Mitkov, "Biographical: A Semi-Supervised Relation Extraction Dataset; Biographical: A Semi-Supervised Relation Extraction Dataset," p. 10, doi: 10.1145/3477495.3531742.
- [50] R. Sanjay Shah et al., "WHEN FLUE MEETS FLANG: Benchmarks and Large Pre-trained Language Model for Financial Domain".
- [51] Y. Zhuang, E. Riloff, K. L. Wagstaff, R. Francis, M. Golombek, and L. Tamppari, "Exploiting Unary Relations with Stacked Learning for Relation Extraction," pp. 126–137.
- [52] A. Wróblewska et al., "TASTeSet-RECIPE DATASET AND FOOD ENTITIES RECOGNITION BENCHMARK A PREPRINT", Accessed: Nov. 21, 2023. [Online]. Available: <https://www.allrecipes.com/>,
- [53] J. D'Souza, A. Hoppe, A. Brack, M. Y. Jaradeh, S. Auer, and R. Ewerth, "The STEM-ECR Dataset: Grounding Scientific Entity References in STEM Scholarly Content to Authoritative Encyclopedic and Lexicographic Sources," pp. 11–16, 2020, doi: 10.25835/0017546.



## A Novel Approach to Web-Based CADx Application for Analysis of Breast Ultrasound Images

Esma Uzunhisarcıklı<sup>1,a,\*</sup>, Volkan Göreke<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Kayseri University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Electronics and Automation, Kayseri, Talas, 38280, Türkiye

<sup>2</sup>Sivas Cumhuriyet University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Computer Technologies, Sivas, 58140, Türkiye

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 03/10/2023

Accepted: 20/11/2023

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### ABSTRACT

There have been many studies on computer-aided detection/diagnosis (CADE/CADx) systems that assist the specialists in the evaluation of radiological images. Such systems increase the success rate of disease detection and decrease the time spent for detection. In recent years, some of the academicals and commercial CADx applications for mass detection/diagnosis on breast ultrasound images were developed as web applications. In this study, a novel, high success-rate CADx web application with a novel classifier architecture was developed and a specialist can track the patients without time and location restrictions with the help of internet connection. Different from commercial applications, the developed application can also be used as an educational tool for junior doctors or medical students to increase their practice in the field of radiology.

**Keywords:** breast cancer; cad; web based

<sup>a</sup> uzunhise@erciyes.edu.tr

<sup>b</sup> 0000-0003-2821-4177

<sup>b</sup> vgoreke@cumhuriyet.edu.tr

<sup>b</sup> 0000-0002-2418-8373

**How to Cite:** Uzunhisarcıklı E, Göreke V (2023) A Novel Approach to Web-Based CADx Application for Analysis of Breast Ultrasound Images, Journal of Engineering Faculty, 1(2): 82-88

### Introduction

According to a recent studies Breast cancer is an important disease that causes women to lose their lives [1]. Benign and malignant type of breast tumors are caused by uncontrolled growth of breast cells [2]. X ray imaging and ultrasound imaging are the most basic medical imaging methods in the early identification of breast cancer [3,4]. Specialists working with mammograms tend to make more misdiagnosis than those working with ultrasound. That is, the rate of false positives is higher for mammograms [5]. Most of the unnecessary biopsies (65%-85%) are caused by the low specificity of mammography [6]. Unnecessary biopsy leads to emotional pressure on the patients and increases the cost.

There have been many studies on computer-aided detection (CADE)/diagnosis (CADx) systems that help specialists in the interpretation of radiological images. Such systems both increase the success rate of detection and reduce the identification time [7,8]. A typical cad software consists of several different layers. These layers are called the image preprocessing layer, the region of interest (ROI)

determination layer, and the classifier layer [7,9]. Classification is the most important part of a CAD system. It classifies the ROI as benign or malignant using the selected features with different methods. Artificial intelligence techniques are widely used as classifiers [10,11,12,13,14].

In recent years, some of the academicals and commercial CADx applications for mass detection/diagnosis on breast ultrasound images were developed as web applications [15]. Grandinetti and Pisacane [16] developed a web application which predicts the blood sugar levels of the patients in a specific period in the future. The method they used for prediction depends on the control of patient's variable conditions in the treatment process and the applied diet program. Al Mamun et al. [17] detected and followed up Parkinson patients using smart devices connected to the Internet with a cloud-based system. Markiewicz et al. [18] designed and developed a web-based software application to analyze microscopic images and assist pathological diagnosis. Remeseiro et al. [19] have developed a web-based application to assist specialist personnel in the diagnosis of dry eye disease. Ruiz et al. [20] introduced a web-based decision support platform designed to organize the treatment of

patients with gestational diabetes. They aimed to improve access to private health care, to prevent unnecessary displacement of patients, to reduce evaluation time per patient, and to reduce the negative consequences of gestational diabetes. Antoniou et al. [21] designed a web-accessible database and CAD system called the MIRaCle DB. They collected 204 mammograms from 196 patients. Their study can also be used for evaluation of education of radiologists. George et al. [22] introduced a CAD system that uses web services for detection and diagnosis of breast cancer using Cytological Images. They used artificial neural networks and support vector machines (SVM) as the classifiers. Silva et al. [23] introduced a web-based system that detects the lesions on mammogram images using an SVM classifier. Love et al. [24] proposed a stand-alone software system called Triage Cad, which classifies the masses in the breast ultrasound images. They had a sensitivity success-rate of 92% with the classifier structure they used in their CAD system. Huang et al. [25] to detect breast cancer proposed a web-based education system that consists of a CAD sub-system and a web database. The proposed system relies on the scoring of 25 features one by one (0: oval, 1: round, 2: irregular etc.) by the specialist who interprets the ultrasound image on the browser. Therefore, the subjective decisions of the specialist determine the result of the classification. However, the objective of the CAD systems is to help the specialist in the decision process by analyzing the details which are difficult for the specialist, using a computer with a high-computing power and a software.

In this study, a novel web-based CAD application was developed that contains a novel classifier architecture proposed by Uzunhisarcıklı and Göreke [26]. MATLAB code of the proposed CAD architecture runs in the background of the web-based CADx application developed in ASP.NET platform. Matlab Compiler SDK extends the functionality of the MATLAB Compiler and generates .NET assemblies from the MATLAB code. In this study, MATLAB function files of the CAD system were first converted to .NET assemblies (dll: dynamic-link library). Then, a web interface was designed and these dll files were referenced from the .NET project. Web interface was developed using C# and JavaScript programming languages. MS SQL database management system was used to store the interpretations of the images which would be examined by the specialists. The proposed application in this study reduces the time that experts spend on analyzing, reduces the cost of preparations by storing physical preparations images on the

server, reproducibility, comparability and objectivity increase in quantitative evaluations.

### Classifier

The fuzzy set theory belonging to L.A Zadeh was put forward in 1965. It is suggested based on a concept of a classical set to reflect an uncertain knowledge. This type of set expresses the state of the objects belonging to the set with a float value between 0 and 1 [27]. A fuzzy inference system uses fuzzy rules, membership functions, and inference mechanisms to handle given inputs to outputs. In the Mamdani inference method, which is the most basic inference method, membership levels from the fuzzy unit are associated with the output membership function using the minimum relationship operator [28]. After Zadeh revealed Type 2 fuzzy clusters in 1975, the previous structure was called Type 1 [29]. A fuzzy inference system is called Type 2 if it contains at least one Type 2 fuzzy structure. The structure of the membership functions of these two types of systems using the same rule structure is different. In addition, the Type 2 system includes a type reducing unit which is not present in the Type 1 system [30]. The new classification architecture developed by Uzunhisarcıklı and Goreke [26] includes a fuzzy inference system of Type 2 structure and has achieved 100% sensitivity performance. The block diagram representing architecture is shown in Figure 1.

$X = (X1-X6)$  expresses the input vector applied to the first layer where  $X1, \dots, X6$  is defined respectively as mean, contrast, spiculation, roundness, area and rate of area to perimeter.  $X7$  is the input parameter given to the second layer and represents the ratio of the axes. The output of Layer 1 is the classification result which is expressed as B or M. Here, B represents benign while M represents malignant.

The rule for Layer 1 is as follows.

- If  $(X3 \in M31)$  and  $(X5 \in M51)$  then  $(R1 \in O11)$
- If  $(X3 \in M32)$  and  $(X5 \in M52)$  then  $(R1 \in O12)$
- If  $(X5 \in M51)$  and  $(X2 \in M21)$  then  $(R1 \in O21)$
- If  $(X5 \in M52)$  and  $(X2 \in M22)$  then  $(R1 \in O22)$
- If  $(X3 \in M31)$  and  $(X6 \in M61)$  then  $(R1 \in O31)$
- If  $(X3 \in M32)$  and  $(X6 \in M62)$  then  $(R1 \in O32)$
- If  $(X3 \in M31)$  and  $(X2 \in M21)$  then  $(R1 \in O41)$
- If  $(X3 \in M32)$  and  $(X2 \in M22)$  then  $(R1 \in O42)$
- If  $(X4 \in M41)$  and  $(X1 \in M11)$  then  $(R1 \in O51)$
- If  $(X4 \in M42)$  and  $(X1 \in M11)$  then  $(R1 \in O52)$

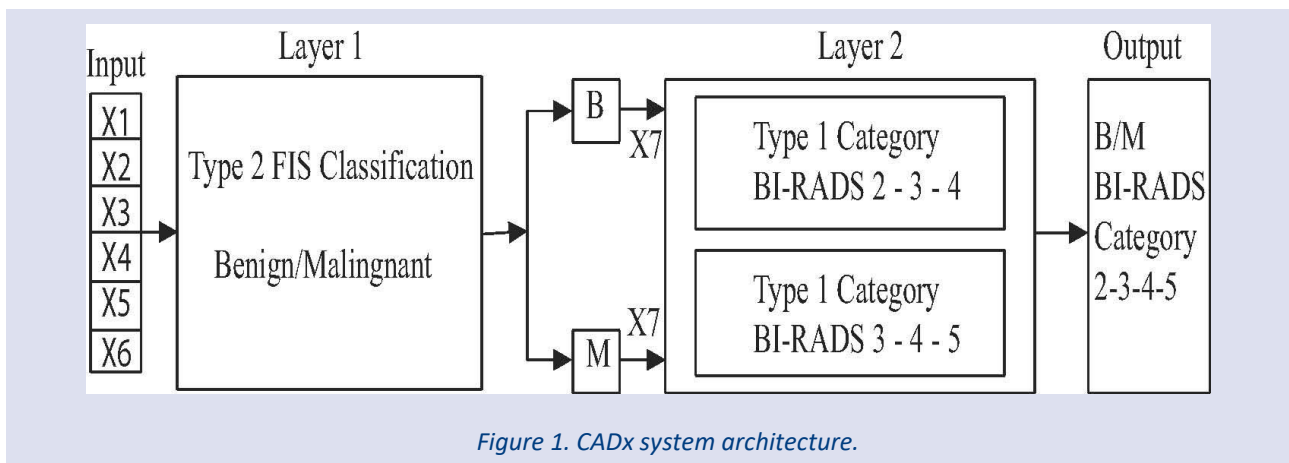


Figure 1. CADx system architecture.



Here, M variables refer to the membership functions of the relevant entry. There are two membership functions for each input parameter. These are named low and high.

For example, M31 for X3 input parameter refers to membership functions named high and M32 low. It refers to the membership function specifying the benign (O12) and malignant (O11) class.

The mathematical model of the fuzzy inference part of the designed software system in layer 1 and layer 2 is as summarized below. The software for both Type 1 and Type 2 fuzzy inference part was developed according to Mamdani methodology. The rule structure of the Type 2 fuzzy inference system is the same as Type 1, except for the structure of membership functions. Unlike Type 1, type reduction operation is carried out in Type 2 system.

The mathematical expression of membership functions is given by Equation 1.

$$\bar{\mu}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (1)$$

$$\underline{\mu}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x < a + a1 \\ \frac{x - (a + a1)}{b - a}, & a + a1 \leq x \leq b \\ \frac{(c - c1) - x}{(c - c1) - b}, & b \leq x \leq (c - 1) \\ 0, & (c - c1) \leq x \end{cases}$$

Here  $\bar{\mu}$  is the parent membership function and  $\underline{\mu}$  is the sub-membership function.

x denotes the input parameter value. The a1 and c1 values are the values that determine the footprint of uncertainty (FOU) range. These values are calculated using the Artificial Bee Colony (ABC) optimization algorithm.

The mathematical expression of FOU is given by Equation 2. The diagram of fuzzy inference system is given in Figure 2.

$$FOU = \bigcup_{\forall x \in X} [\underline{\mu}(x), \bar{\mu}(x)] / x \quad (2)$$

Equation 3 gives the mathematical expression for the output of the fuzzy inference system.

$$[\underline{b}(y), \bar{b}(y)] = [\max(\underline{b1}(y), \bar{b1}(y)), \max(\underline{b2}(y), \bar{b2}(y))] \quad (3)$$

The value obtained from the second layer is used for category information [26].

### Web-based CADx application

MATLAB Compiler SDK is a very useful toolbox for developers who want to use .NET and MATLAB platforms together. Using these two software platforms, Kaçar et al introduced a web-based image processing application that implements fundamental image processing functions such as filtering, scaling and contrast equalization [31]. Guney et al. [32] introduced a web-based ECG simulator using the same methods.

A dll is a library that contains code and data that could be used simultaneously by more than one program Mathworks [33]. MATLAB function files with .m extensions were converted to .NET assemblies using the Compiler SDK as shown in Figure 3. Furthermore, these dll files may include many m function files that can be used by the main m file. To realize it using the compiler, .NET assembly option is selected from a select box that asks for the type of file to be generated. m file is added by clicking the plus button (Add exported function to the project) and the process is started by clicking the package button. If no error occurs, dll file is generated in the for\\_redistribution\\_files\\_only folder. The generated dll files and functions are as follows:

- resim2using.dll: Takes the image to be processed and pixel coordinate data of the marked suspicious region perimeter as the inputs, then returns the morphological and texture-based features after obtaining the ROIs, image filtering and enhancement.
- webtip2using.dll: Includes Type 2 fuzzy inference software that takes Layer 1 parameters of the CADx architecture and classifies the suspicious region as benign or malignant.
- tip2MCatusing.dll: Includes the fuzzy inference system software that takes the X7 parameter of CADx Layer 2 and determines the BI-RADS category.

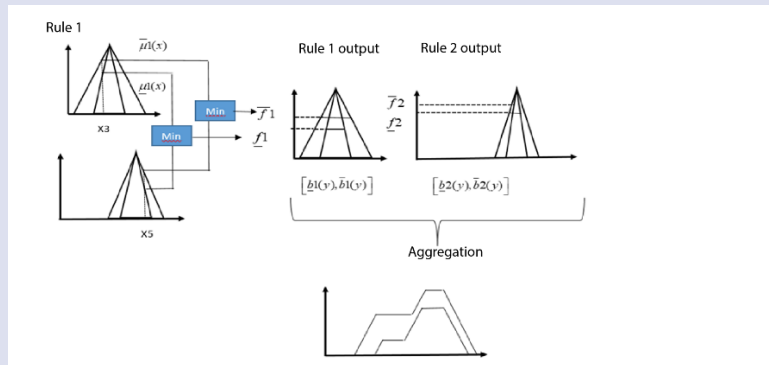


Figure 2. The diagram of the Type 2 fuzzy inference system



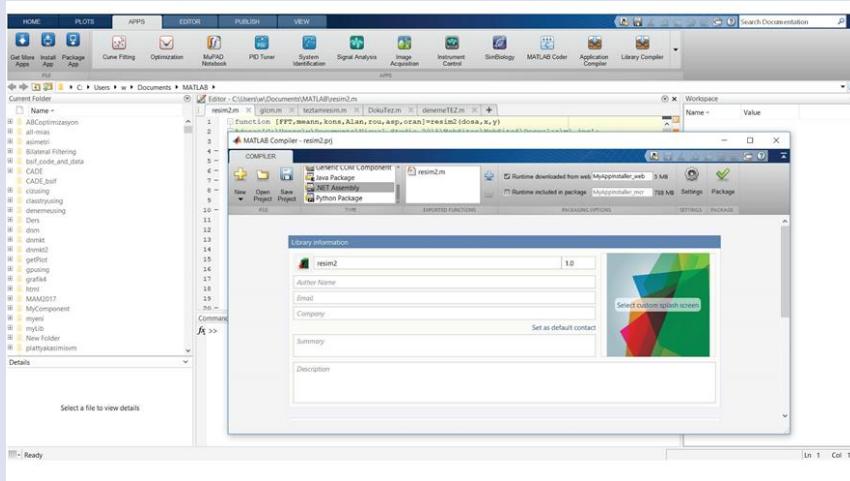


Figure 3. Dll file generation.

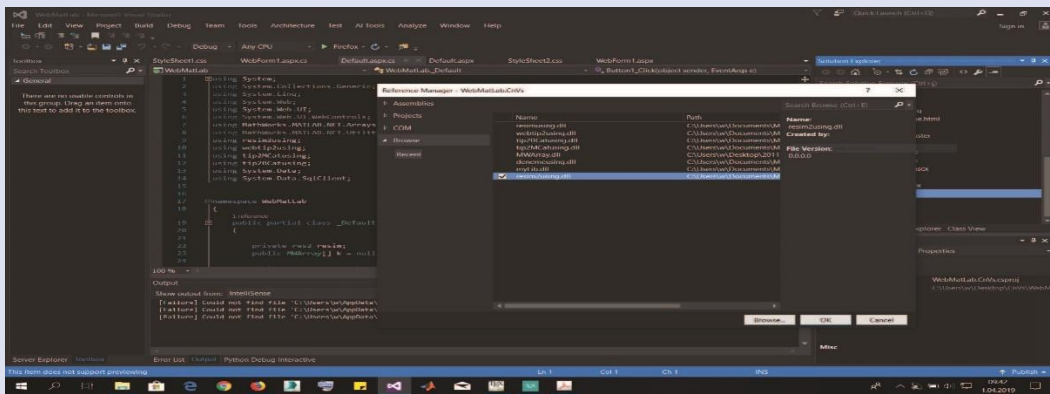


Figure 4. Visual studio environment.

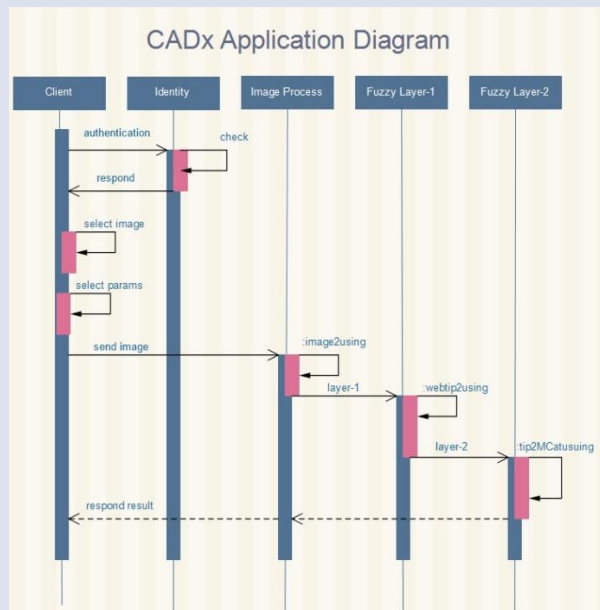


Figure 5. The system architecture of the software

Visual Studio platform that allows software development in various programming languages was used in web application development process. The dll files explained above were referenced to the project generated in Visual Studio environment as shown in Figure 4.

It can be seen from Figure 4 that there is a file named MWArray.dll. This file includes the classes that perform conversions between MATLAB and .NET platforms. Thus, data coming from MATLAB were processed without any problems.

The system architecture of the software is given in Figure 5. Here, the pixel-based coordinates of mass perimeter marked on the browser are captured using JavaScript. Coordinate information is used as the input of the object's method (resim2.m) generated using resim2using library. The function returns an array of feature values. Then these parameters are used as the inputs of the object's method that was generated from webtip2using library, and the CADx system Layer 1 output is obtained. The classification result obtained from Layer 1 output is labelled as "1" for malignant and "0" for benign. If the value equals "1" then the object's method generated from tip2MCatusuing library is called. This method takes the MF4 feature value as the input and returns the BI-RADS category for malignant type as the output. If the value equals "0", then the object's method generated from tip2BCatusuing library is called and BI-RADS category for benign type is returned.

The Add Comment text-area shown in the interface is used for storing medical information and comments for images examined by the specialists in a database. Thus, the verbal statements obtained from different users should be used as a reference for the improvement of CADx system's fuzzy rule structure.

In addition, when clicked on the Read Comment button, comments saved in the database can be moved to the text-area. Thus, specialist physicians will be able to exchange views by accessing different expert opinions about medical images.

In addition, junior specialists who have access to these opinions will be able to increase their medical knowledge and have the opportunity to practice.

By clicking the Browse button, the selected image file can be uploaded to the system by clicking the Upload Image button. Thus, any ultrasound images that are not in the database can also be loaded and analyzed. The system model of the transaction is given in Figure 6.

In this study, 70 ultrasound images obtained from the open access Biomedical Engineering Research Unit of SIIT (BioMed SIIT) database were examined by a radiology specialist and the regions containing masses were marked in computer environment. The system designed in tests performed on the specified ROI areas achieved 98.5% accuracy. The graphical interface visual of the software of the system proposed in this study is given in Figure 7 below.

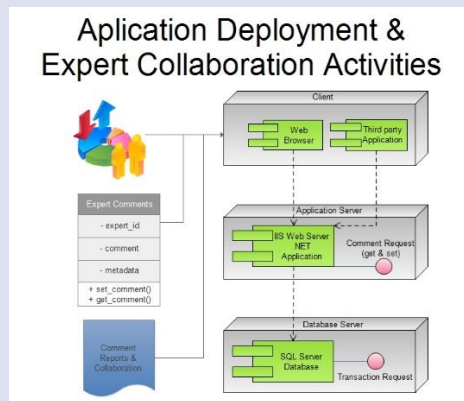


Figure 6. The system model of the transaction

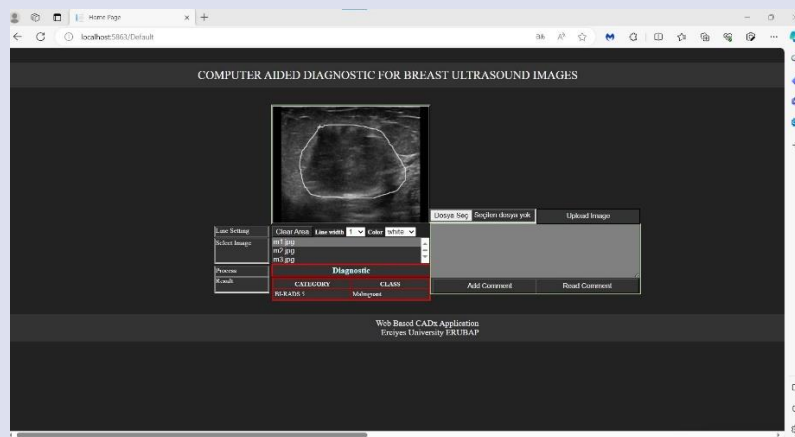


Figure 7. The graphical interface visual of the software of the system

## Results and conclusion

Many of the CADx/CADe studies in the literature do not include the development of a software. Some of the developed software (academical or commercial) are desktop applications. Therefore, the specialist must be able to access to the computer where the software is installed. In this study, the CADx system for the designed architecture was developed as a web-based system using different software technologies. Thus, the specialist can track his/her patients without time and location restrictions. He/she can access to the system from everywhere with an Internet connection. Different from commercial applications, the developed application can also be used as an educational tool for junior doctors or medical students to increase their practice in the field of radiology. Additionally, the information about the examined images and the experiences of the specialists will be stored in a database. It's also foreseen that the rule structure of the inference system will be improved using the obtained linguistic statements by programmer.

The single-user system was converted to a multi-user system by adding a login page. In the literature, the same medical image is analyzed by two different physicians is called double reading. This structure was converted into a multi-reading system by adding multiple users and CADx system. In addition, an online messaging module can be added to the system, and an interactive training platform can be established between the specialist and the medical student.

## Acknowledgements

This study was supported by Erciyes University BAP department ID : 6629

## References

- [1] Chiang, T. C., Huang, Y. S., Chen, R. T., Huang, C. S., Chang, R. F. 2019. "Tumor Detection in Automated Breast Ultrasound Using 3-D CNN and Prioritized Candidate Aggregation." *IEEE Transactions On Medical Imaging* 38(1):240-249. doi: 10.1109/TMI.2018.2860257
- [2] Hosni, M., Abnane, I., Idri, A., Gea, J. M. C., Alemán, J. L. F. 2019. "Reviewing ensemble classification methods in breast cancer." *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 177:89-112. doi:10.1016/j.cmpb.2019.05.019
- [3] Sibbering, M. and Courtney, C. A. 2019. *Management of breast cancer: basic principles, Surgery (Oxford)*, 37(3):157-163. doi:10.1016/j.mpsur.2019.01.004
- [4] Reidt, J. M. 1959. "Medical Ultrasonics: Diagnostic applications of ultrasound." *Proceedings of the IRE.Ultrasound* 47(11):1963-1967. doi: 10.1109/JRPROC.1959.287211
- [5] Shi, X., Cheng, H. D., Hu, L., Ju, W., Tian, J. 2010. "Detection and classification of masses in breast ultrasound images." *Digital Signal Processing* 20:824-836. doi:10.1016/j.dsp.2009.10.010
- [6] Jesneck, J., Lo, J., Baker, J. 2007. "Breast mass lesions: Computer-aided diagnosis models with mammographic and sonographic descriptors." *Radiology* 244(2):390-398. doi: 10.1148/radiol.2442060712
- [7] Stoitsis, J., Valavanis, I., Mougiakakou, S. G., Golemati, S., Nikita, A., Nikita, K. S. 2006. "Computer aided diagnosis based on medical image processing and artificial intelligence methods." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 569:591-595. doi:10.1016/j.nima.2006.08.134
- [8] Sampaio, W. B., Diniz, E. M., Silva, A. C., Paiva, A. C., Gattass, M. 2011. "Detection of masses in mammogram images using CNN, geostatistic functions and SVM." *Computers in Biology and Medicine* 41:653-664. doi:10.1016/j.combiomed.2011.05.017
- [9] Chiou, H. J., Chen, C. Y., Liu, T. C., Chiou, S. Y., Wang, H. K., Chou, Y. H., Chiang, H. K. 2009. "Computer-aided diagnosis of peripheral soft tissue masses based on ultrasound imaging." *Computerized Medical Imaging and Graphics* 33:408-413. doi:10.1016/j.compmedimag.2009.03.005
- [10] Huang, Y. L., Wang, K. L. and Chen, D. R. 2006. "Diagnosis of breast tumors with ultrasonic texture analysis using support vector machines." *Neural Computing and Applications* 15:164-169. doi:10.1007/s00521-005-0019-5
- [11] Amin, K. M., Shahin, A. I. and Guo, Y. A. 2016. "A Novel breast tumor classification algorithm using neutrosophic score features." *Measurement* 81:210-220. doi:10.1016/j.measurement.2015.12.013
- [12] Singh, B. K., Verma, K. and Thoke, A. 2016. "Fuzzy cluster based neural network classifier for classifying breast tumors in ultrasound images." *Expert Systems with Applications* 66:114-123. doi:10.1016/j.eswa.2016.09.006
- [13] Singh, B. K., Verma, K., Thoke, A. S., Suri, J. S. 2017. "Risk stratification of 2D ultrasound-based breast lesions using hybrid feature selection in machine learning paradigm." *Measurement* 105: 146-157. doi:10.1016/j.measurement.2017.01.016
- [14] Lin, C., Hou, Y., Chen, T., Chen, K. 2014. "Breast nodules computer-aided diagnostic system design using fuzzy cerebellar model neural networks." *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 22(3):693-699. doi: 10.1109/TFUZZ.2013.2269149
- [15] Mata, C., Oliver, A., Lalande, A., Walker, P., Marti, J. 2017. "On the use of XML in medical imaging web-based applications." *IRBM* 38:3-12. doi:10.1016/j.irbm.2016.10.001
- [16] Grandinetti, L. and Pisacane, O. 2011. "Web based prediction for diabetes treatment." *Future Generation Computer Systems* 27:139-147. doi:10.1016/j.future.2010.08.001
- [17] Al Mamun, K. A., Alhussein, M., Sailunaz, K., İslam, M. 2017. "Cloud based framework for parkinson's disease diagnosis and monitoring systems for Zak, J., Roszkowiak, L., Kozłowski, W., Pijanowska, D. 2016. "MIAP- web based platform for the computer alanalysis of microscopic images to support the pathological
- [18] Markiewicz, T., Korzyńska, A., Kowalski, A., Chadaj, S. Z., Murawski, P., Grala, B., Lorent, M., Wdowiak, M.,

- diagnosis.” *Biocybernetics and Biomedical Engineering* 36(4):597-609. doi:10.1016/j.bbe.2016.06.006
- [19] Remeserio, B., Barreira, N., Resua, C. G., Lira, M., Giraldez, M. J., Pimental, E. Y., Penedo, M. G. 2016. “IDEAS: a web based system for dry eye assessment.” *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 130:186-197. doi:10.1016/j.cmpb.2016.02.015
- [20] Ruiz, E. C., Saez, G. G., Rigla, M., Villaplana, M., Pons, B., Hernando, M. E. 2017. “A web based clinical decision support system for gestational diabetes: automatic diet prescription and detection of insulin needs.” *International Journal of Medical Informatic* 102:35-49. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2017.02.014
- [21] Antoniou, Z. C., Giannakopoulou, G. P., Andreadis, I. I., Nikita, K. S., Ligomenides, P. A., Spyrou, G. M. 2009. “A web-accessible mammographic image database dedicated to combined training and evaluation of radiologists and machines.” In *Proceedings of the 9th International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine, ITAB*; 5-7 November 2009. Larnaca, Cyprus.
- [22] George, Y. M., Zayed, H. H., Roushdy, M. I., Elbagoury, B. M. 2014. “Remote computer aided breast detection and diagnosis system based on cytological images.” *IEEE Systems Journal* 8(3):949-964. doi: 10.1109/JSYST.2013.2279415
- [23] Silva, L. C. O., Barros, A. K. and Santana, E. E. C. 2014. “A Telediagnostic System for Automatic Detection of Lesions in Digital Mammograms.” In *5th ISSNIP-IEEE Biosignals and Biorobotics Conference Biosignals and Robotics for Better and Safer Living (BRC)*; 26-28 May 2014. Brazil.
- [24] Love, S., Berg, W. A., Podilchuk, C., Aldrete, A. L. L., Mascerano, A. G., Jairaj, A., Barinow, L., Hulbert, W., Mammoni, R. 2016. “Breast Cancer Triage CAD for Low Resource Countries using Low- Cost Ultrasound and Minimally-Trained Operators.” In *2016 IEEE Healthcare Innovation Point-Of-Care Technologies Conference (HI-POCT)*; 9-11 November 2016:220-223. Cancun, Mexico.
- [25] Huang, Q., Huang, X., Liu, L., Lin, Y., Long, X., Li, X. 2018. “A case-oriented web-based training system for breast cancer diagnosis.” *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 156:73-83. doi:10.1016/j.cmpb.2017.12.028
- [26] Uzunhisarcıklı, E. and Goreke, V. 2018. “A novel classifier model for mass classification using BI-RADS category in ultrasound images based on Type-2 fuzzy inference system.” *Sadhana* 43:138. doi:10.1007/s12046-018-0915-x
- [27] Zadeh, L. A. 1975. “Fuzzy Logic and Approximate Reasoning.” *Synthese* 30:407-428.
- [28] Mamdani, E. H. 1974. “Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant.” *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers* 121:1585. doi: 10.1049/piee.1974.0328
- [29] Mendel, J. M. 2007. “Type-2 Fuzzy Sets and Systems: An Overview.” *IEEE Computational Intelligence Magazine* 2:20-29. doi:10.1109/MCI.2007.380672
- [30] Castillo, O. and Melin, P. 2012. *Recent Advances in Interval Type-2 Fuzzy Systems*. Heidelberg New York Dordrecht London, Springer.
- [31] Kacar, S., Bayilmis, C., Cetin, O. 2014. “A web laboratory using MATLAB Builders NE for computer image processing.” *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences* 22:166-175. doi:10.3906/elk-1203-129
- [32] Guney, E., Eksi, Z. and Cakiroglu, M. A. 2012. “WebECG : A Novel ECG simulator based on MATLAB Web Figure.” *Advances in Engineering Software* 45:167-174. doi:10.1016/j.advengsoft.2011.09.005
- [33] MathWorks, MATLAB Compiler SDK - Documentation, available at [https://www.mathworks.com/help/compiler/\\_sdk,lastaceferences](https://www.mathworks.com/help/compiler/_sdk,lastaceferences)



## Using Ansys 3D Electromagnetic Analysis for Investigation the Effect of Harmonics on Power Transformers

Feyyaz Alpsalaz<sup>1,a,\*</sup>, Mehmet Salih Mamiş<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Department of Electric and Energy, Yozgat Bozok University, Yozgat

<sup>2</sup>Department of Electrical-Electronics Engineering, İnönü University, Malatya

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 20/10/2023

Accepted: 01/11/2023

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### ABSTRACT

With the development of today's technology, the loads connected to the electrical grid systems have diversified. Parallel to the developments in semiconductor technology, there has been a great increase in the number of nonlinear loads. Since the current and voltage characteristics of these loads do not change linearly, they cause harmonic generation in the systems. Harmonics cause extra energy loss, heating and insulation failures in the systems. Transformers, which are an important part of power systems, carry harmonic load current. Considering that transformers operate continuously in power systems, harmonics can lead to increased transformer losses, reduced transformer life, insulation failures, indirect arcing and even transformer explosions. In this study, a 3D electromagnetic transient model design of a power transformer, whose actual dimensions and design are known from factory data, was created using ANSYS@Maxwell program. After the model was created, the electromagnetic states of the transformer under various harmonic currents were analyzed using the Finite Element method with ANSYS@Simplorer and ANSYS@Maxwell programs. The effects of electromagnetic conditions and losses on the transformer are investigated.

**Keywords:** Transformer, Harmonics, Ansys@Maxwell, Total Harmonic Distortion, THD

<sup>a</sup> feyyaz.alpsalaz@yobu.edu.tr

<sup>b</sup> 0000-0002-7695-6426

<sup>b</sup> mehmet.mamis@inonu.edu.tr

<sup>b</sup> 0000-0002-6562-0839

**How to Cite:** Alpsalaz F, Mamiş MS (2023) Using Ansys 3D Electromagnetic Analysis for Investigation the Effect of Harmonics on Power Transformers, Journal of Engineering Faculty, 1(2): 89-93

## Introduction

Transformers have a crucial role in power systems. Traditionally, they are designed to operate at the standard sinusoidal power frequencies of 50 or 60 Hz to serve linear loads. However, the widespread adoption of power electronic devices has introduced a wide range of non-linear loads into modern society, spanning from heavy industrial applications to commercial settings. These non-linear loads introduce harmonics into the power system, causing distortions in current and voltage waveforms. These distortions take the form of sine signals that are related to the fundamental frequency and are commonly known as harmonics [1]. The distorted waveform can be analyzed using Fourier series, which decomposes it into a set of sinusoidal components, with each component representing an integer multiple of the fundamental frequency. This analytical approach enables the separate examination of each

harmonic component [2]. When the positive and negative half-cycles of the waveform exhibit identical shapes, the Fourier series consists exclusively of odd harmonics. The presence of even harmonics indicates potential issues with either the load equipment or the transducers used for measurements [3]. The resultant harmonic currents and harmonic voltages give rise to undesirable additional losses and excessive heat within transformers. This elevated temperature, attributed to harmonics, expedites the aging of the insulation in transformers, consequently reducing their operational lifespan [4]. Consequently, harmonic generation has become an increasingly pressing concern for electric utilities. The permissible level of harmonic distortion, both at the individual customer level and the overall harmonic distortion introduced into the electrical system, is stipulated by industry standards such as IEC Standard 61000-3-6 [5] and IEEE Standard 519-2014 [6]. Harmonic generation at a lower level than the IEC standard requires both individual



percentage and total harmonic distortion (THD-Total harmonic) level. Considering the literature reviews, various analyses and investigations have been performed mathematically, simulation and experimentally on the transformer according to THDs [7-8]. It has been observed that the results obtained in the studies conducted with Ansys@Maxwell and the transformer obtained very close values to the experimental or factory data [9].

In this study, a 3D design of a transformer with known actual dimensions and nameplate values was created in Ansys@Maxwell program and electromagnetic transients were analyzed according to various THD values..

## Illustrations

Transformer manufacturers typically aim to design transformers that minimize losses under rated voltage, rated frequency, and sinusoidal current conditions. However, the proliferation of non-linear loads in recent years has led to load currents that are no longer purely sinusoidal. This departure from sinusoidal current waveforms results in additional losses and increased temperatures within the transformer [10]. Transformer losses can be categorized into two primary groups: no-load losses and load losses, as expressed in equation (1).

$$P_T = P_{LL} + P_{NL} \quad (1)$$

Here,  $P_T$  represents the total losses,  $P_{LL}$  stands for load losses, and  $P_{NL}$  represents no-load losses. No-load losses do not exhibit any load loss or core loss due to the time-varying nature of the electromagnetic flux passing through the core. As distribution transformers are continually in service and their numbers are significant in the network, the no-load losses remain consistently high. These losses are primarily caused by hysteresis phenomena and eddy currents within the core, and they are directly proportional to the frequency and the maximum flux density of the core. Importantly, they are independent of load currents and can be considered constant. Numerous experiments have indicated that the core temperature rise is not the limiting factor in determining the permissible current for transformers under non-sinusoidal current conditions [11-12]. Furthermore, given that the voltage harmonic component typically remains below 5%, the error introduced by neglecting this harmonic component is negligible. It is assumed that only the fundamental component of the voltage contributes to load losses. Consequently, the IEEE C57.110 standards do not account for any increase in core losses due to non-linear loads and consider these losses to be constant under non-sinusoidal current conditions.

Load losses encompass direct current (DC) or ohmic losses, eddy losses within the windings, and other stray losses. These losses can be determined through short circuit testing.

$$P_{LL} = P_{DC} + P_{EC} + P_{OSL} \quad (2)$$

$P_{DC}$  stands for winding resistance losses,  $P_{EC}$  for eddy current losses in the windings and  $P_{OSL}$  for leakage losses in other conductive parts such as tank, clamps, lock plates,

etc. Winding losses can be calculated as the square of the current flowing through the winding and the DC resistance. If the RMS value of the load current increases due to the harmonic component, this loss will increase by the square of the RMS current load.

$$P_{DC} = R_{DC} x I_{RMS}^2 = R_{DC} x \sum_{h=1}^{h=h_{max}} I_{h_{max}}^2 \quad (3)$$

According to IEEE C57.110 standards, the amount of rated eddy current loss of windings is about 33% of the total leakage loss for oil-filled transformers[13]:

$$P_{EC-R} = 0.33 x P_{TSL} \quad (4)$$

Considering the eddy current loss for transformer windings ( $P_{EC-R}$ ) under nominal conditions, the eddy current loss due to harmonic sinusoidal load current can be expressed as follows:

$$P_{EC} = P_{EC-R} x \sum_{h=1}^{h=h_{max}} \left[ \frac{I_h}{I_R} \right]^2 h^2 \quad (5)$$

Here,  $h$  is the RMS current  $I_h$  at harmonic,  $I_R$  is the RMS fundamental current under rated frequency and load conditions and  $P_{EC-R}$  is the eddy current loss. Other leakage losses in the core, clamps, and structural components will indeed grow in proportion to the square of the load current. However, research by manufacturers and other investigations has revealed that eddy current losses in busbars, connections, and structural parts don't adhere to a quadratic relationship with frequency. Instead, they exhibit an increase with a harmonic exponent factor of 0.8 [14]. This approach can be extended to calculate other leakage losses for harmonic sinusoidal currents:

$$P_{OSL} = P_{OSL-R} x \sum_{h=1}^{h=h_{max}} \left[ \frac{I_h}{I_R} \right]^2 h^{0.8} \quad (6)$$

Thus, the total losses involving harmonic sinusoidal current can be calculated as in equation (7).

$$P_T = P_{NL} + R_{DC-R} x \sum_{h=1}^{h=h_{max}} I_{h_{max}}^2 + P_{EC-R} x \sum_{h=1}^{h=h_{max}} \left[ \frac{I_h}{I_R} \right]^2 h^2 + P_{OSL-R} x \sum_{h=1}^{h=h_{max}} \left[ \frac{I_h}{I_R} \right]^2 h^{0.8} \quad (7)$$

## Simulation

In order to see the harmonic effects, firstly, a transformer whose actual size and design values are known is designed in 3D in Ansys@Maxwell program. Some label information of the design is given in Table 1. The design model is shown in Figure 1.

After the transformer design, the input voltage was applied according to the THD values of 5, 7, 11 and 13 harmonics which are multiples of the fundamental frequency in the network. THD harmonic values are given in Table 2. THD limit values in networks with 33 kV (RMS) amplitude values are determined according to IEC 61000 4-7 standards [F16]. THD=0 indicates the system with no harmonics, THD1=4.97 indicates the maximum 5% harmonic condition with IEC 61000 4-7 total harmonic limit value, THD2=7.5 indicates the IEC 61000 4-7 total harmonic limit value with all limit conditions and finally THD3=10.4 indicates the total sinusoidal distortions in the network voltage according to the excess harmonic occurrence in the system. The analyses are analyzed using the Finite element method.



Table 1. An example of a table.

Factory info	Value
HV/LV Voltages	33.000 / 11.000 V
Loss of Nucleus	12.000 W
Copper Loss	97.000 W
Uk	%11
I0	%0.44
HV/LV connection Type	D / Y
Number of HV/LV Spirals	665/128 Turn
HV/LV phase Current	152/785 A

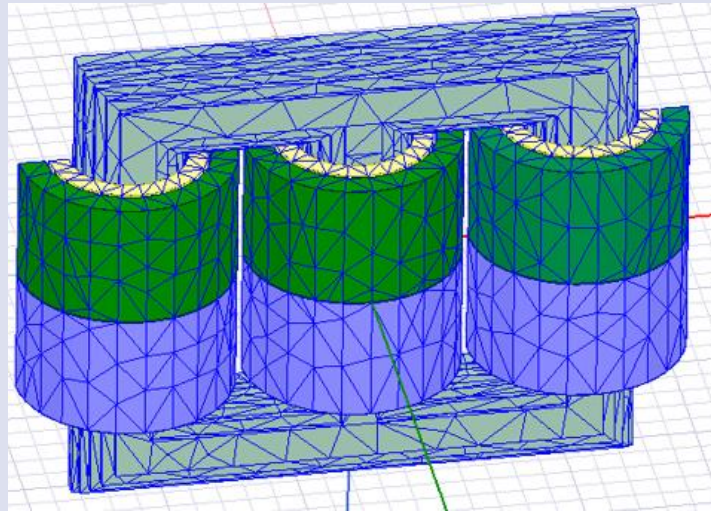


Figure 1. ANSYS model of the transformer

Table 2. Harmonics and THD values

Harmonic	Maximum limit value(%)	Harmonic	Maximum limit value(%)	THD0 (%)	THD1 (%)	THD2 (%)	THD3 (%)
5	5	5	5	0	3,5	5	7
7	4	4	4	0	3	4	5,5
11	3	3	3	0	2	3	4,5
13	2,5	2,5	2,5	0	1,5	2,5	3
Total				0	4,97	7,5	10,42

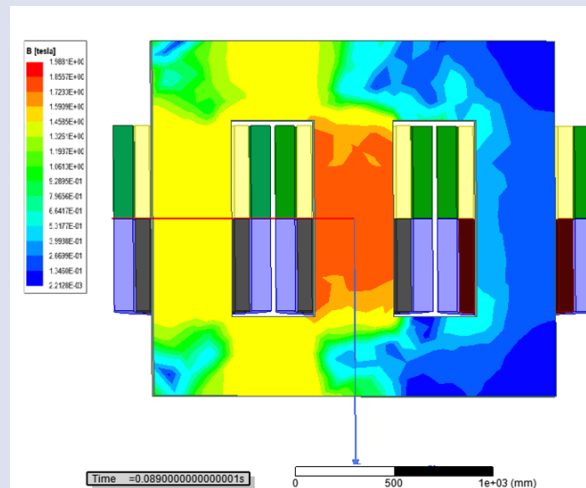


Figure 2. Instantaneous magnetic flux variation at THD=0

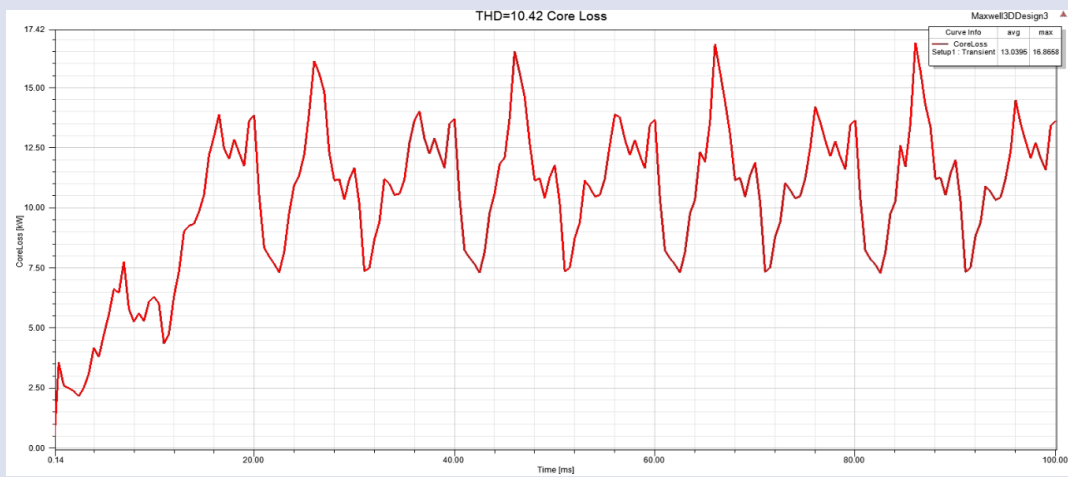


Figure 3. Core Losses at THD=10.42

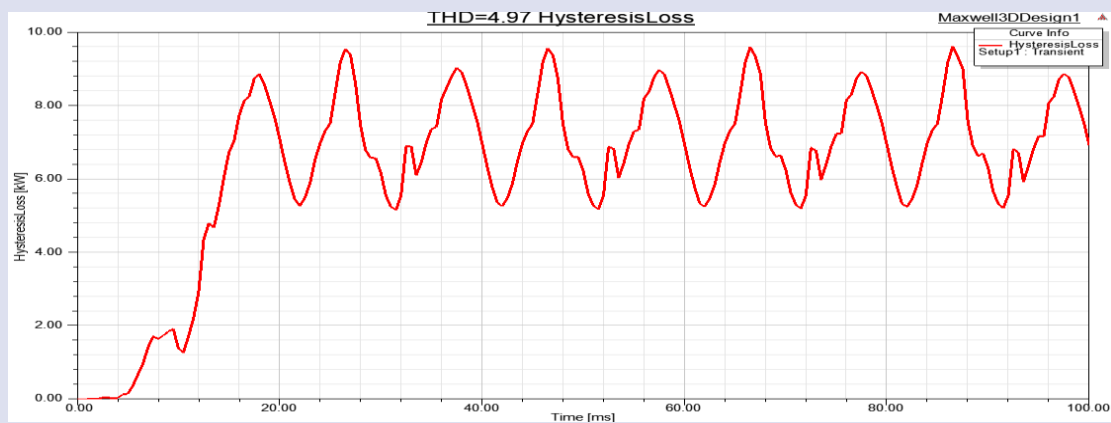


Figure 4. Hysteresis Losses at THD=4.97

Table 3. Harmonics and THD values

Losses(kW)	THD=0	THD=4,97	THD=7,5	THD=10,42
Average Hysteresis Losses	7.22	7.24	7.85	8.59
Maximum Hysteresis Losses	9,51	9,85	10,17	10,35
Average Eddy Losses	4.09	4.17	4.29	4.44
Maximum Eddy Losses	6,82	6,52	6,61	6,87
Average Core Losses	11.31	11.66	12.14	13.03
Maximum Core Losses	15,67	16,23	16,44	16,86

## Conclusion

As a result of the analysis, it is determined that as the THD levels of the harmonics in the main sinusoidal structure in the mains voltage increase, all losses in the transformer increase. This causes overheating in the transformer and shortens the transformer life. It is important to consider the losses, otherwise they can cause overheating of the windings and hot spot temperatures above the limits. These overheating and losses cause deformations in the windings when the transformer is continuously operating in the grid at idle or load. Deformation of the windings can have serious consequences when exposed to high currents such as various short circuit, arc or impulse voltages.

## References

- [1] Gupta, A, Singh, R. Computation of transformer losses under the effects of nonsinusoidal currents. *Advanced Computing*. 2011;2:6, 91-104.
- [2] Hsiung-Cheng L. Power Harmonics and Interharmonics Measurement Using Recursive Group-Harmonic Power Minimizing Algorithm, *Industrial Electronics, IEEE Transactions*. 2012; 59, 1184-1193.
- [3] Chapman D. *Harmonics—causes and effects*. Leonardo Power Quality Application Guide.2001.
- [4] Özüpak, Y, Mamiş, MS. Analysis of electromagnetic and loss effects of sub-harmonics on transformers by Finite Element Method. *Sādhanā*, 2020;45(1), 1-5.

- [5] IEC, IEC 61000-3-6 Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems, ed, 2008.
- [6] IEEE, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, ed: IEEE, 2014.
- [7] Raichura M, Chothani N, Patel D, Mistry K. Total Harmonic Distortion (THD) based discrimination of normal, inrush and fault conditions in power transformer. *Renewable Energy Focus*, 2021; 36, 43-55.
- [8] Dao, T., & Phung, BT. Effects of voltage harmonic on losses and temperature rise in distribution transformers. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 2018;12(2), 347-354.
- [9] Özüpak, Y. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Dağıtım Transformatörlerinin Harmonik Yük Kayıplarının Analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 202; 3(1), 38-46.
- [10] Sadati SB, Tahani A, Darvishi B, Dargahi M, Yousefi H. Comparison of Distribution Transformer Losses and Capacity under Linear and Harmonic Loads. *In the proceedings of the IEEE 2nd International Power and Energy Conference*, 2008, pp. 1265-1269.
- [11] Jayasinghe, NR, Lucas JR, Perera, KB. Power System Harmonic Effects on Distribution Transformer and New Design considerations for K Factor transformers. *IEEE Sri Lanka Annual Sessions*. 2003. Sri Lanka: IEEE.
- [12] Fuchs EF, Yildirim DMack Grady, W. Measurement of eddy current loss coefficient  $\text{pec-r}$ , derating of single-phase transformers and comparison with k-factor approach. *IEEE transaction on Power Delivery*, 2000;15(1),148-154.
- [13] IEEE Standard C57.110-1998, IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Capability when Supplying Non-sinusoidal Load Currents. IEEE Standards.
- [14] Transformers Committee of the IEEE Power Engineering Society, IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents, USA, 30 March 1999.
- [15] Al Abri, RS, Albadi MH, Al Abri MH, Al Rasbi UK, Al Hasni MH, Al Shidi, SM. Impact of Harmonic Resonance and V-THD in Sohar Industrial Port–C Substation. *International Journal of Energy and Power Engineering*, 2016;10(2), 210-217.



## Design of Digital Differential Relay for Protection of Power Transformers Operating Under Highly Non-Linear Load

Hülya Doğan<sup>1,a,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, 54104, Sivas, Turkey

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 27/12/2023

Accepted: 29/12/2023

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

hdogan@cumhuriyet.edu.tr



### ABSTRACT

Electric Arc Furnaces (EAF) are the loads in the industry with highest rate of power consumption and they have a highly non-linear operating characteristic. In this study, Design of digital differential role model for protection of three-phase step-down power transformer supplying EAF and Matlab/Simulink simulation are presented. For this purpose, three-phase system model supplying power to EAF is modelled by means of Matlab/Simulink. In order to ensure sensitivity to role and distinguish the inrush currents from fault currents, inrush currents and current harmonics experimentally obtained from 100 MVA power transformer are measured. Thus, the difference between inrush and fault currents are specified and appropriate relay slope coefficients for designed dual-slope role characteristic are defined. When single-phase and multiphase faults in the obtained results of the simulation are examined in this study, it is revealed that the designed digital differential relay has an efficient operational performance in loads with highly non-linear and rapid changes characteristic such as EAF.

**Keywords:** Digital Differential Relay, Electric Arc Furnace (EAF), Non-Linear Load, Transformer Protection.

**How to Cite:** Doğan H (2023) Design of Digital Differential Relay for Protection of Power Transformers Operating Under Highly Non-Linear Load, Journal of Engineering Faculty, 1(2): 94-104

### Introduction

Power transformers are one of most important equipment used in electric power systems [1]. The faults occur in power transformers are generally internal faults or originating from transformer connections [2]. Repair periods of power transformer faults are often long and their costs are high. Therefore, ensuring protection and reliability of power transformers is rather important.

Differential protection, which evaluates the differential current in terminals of power transformers and predicts potential faults is commonly used. However, differential circuit relays are affected by many factors such as saturation of transformer, tap-changing, over excitation and inrush currents [3]. Therefore, it is necessary to distinguish between inrush current and fault current. In order to make this distinction, various methods based on processing of current harmonics have been used

[4-6]. In addition, numerous studies have been conducted to determine the distinction between harmonic limitation method, inrush current and fault current [7-11]. However, these methods are insufficient to determine the distinction between inrush and fault currents when the transformer is energized. In order to overcome this insufficiency, magnetic flux and tension suppression methods [12-14] and induction based methods have been developed [15-17]. However, as these approaches are dependent on the parameters of transformers, they are difficult to implement in practice. Some researchers have argued that voltage signals can be used to ensure the reliability of differential protection [18] and difference power can be utilized to define inrush current [19]. In addition to these studies, some researchers have revealed that signal-processing methods based on artificial

intelligence [20-25], fuzzy logic [26-32] and wavelet transform [33-39] can be used for differential protection of transformers. However, these methods fall short in practice as the complexity of processes limit their application to the role and they cause noise distribution [40].

Electric arc furnaces (EAF) are the non-linear loads with the highest power in the industry. Particularly, when there is a short circuit during the process of charging and melting by EAF, waveform of current and voltage change rapidly. This causes frequent increases in inrush current and harmonic currents [41].

In this study, three-phase electric system model of the system supplying 60 MVA EAF plant is modelled by using Matlab/Simulink. A differential protection relay is prepared for the 380/34,5 kV step-down transformer station having 100 MVA Yn/Yn connection structure to perform protection under heavy non-linear load. Digital Differential Role (DDR) is defined as dual-slope. An

algorithm is developed by using the threshold values of inrush and harmonic currents experimentally measured with power analyzer during charging and melting processes of EAF and stability of the relay is increased with elimination of numerical zero-component and adaptation of vector group [42-43]. When faults of a single phase and multiphase in the results of simulation are examined, it is observed that the designed DDR has an effective operational performance in highly non-linear and rapidly changing loads such as EAF and this finding is presented in the study.

### Principle of Digital Differential Relay

Basic connection diagram of DDR is presented in Figure 1. When conversion ratios of current transformers are taken into consideration, the value read from secondary ends of current transformers is expressed by the equation (1).

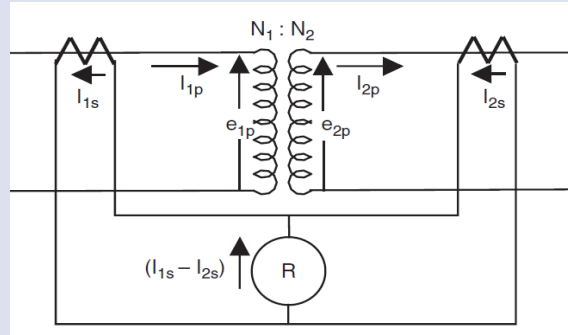


Figure 1. Connection diagram of differential relay for one phase

$$N_1 \cdot n_1 \cdot I_{1s} = N_2 \cdot n_2 \cdot I_{2s} \quad (1)$$

In this statement, it will be  $I_{1s} = I_{2s}$  in case of a fault. However, in the event of a fault in the system, this value will be considerably higher than zero. In this case, the expression of differential current is defined by expression (2).

$$I_d = |I_{1s} - I_{2s}| \quad (2)$$

In order for differential relay to operate, there should be a current on current transformer winding higher than the specified current value. This current value is accepted as the average of the currents at the primary and secondary ends of the transformer. This current is called the limiting current. Mathematical expression of limiting current is as in equation (3).

$$i_r = \frac{|I_{1s} + I_{2s}|}{2} \quad (3)$$

Basic double slope characteristic curve of DDR is shown in Figure 2 [42]. In order for the relay to operate steadily in dual-slope relay characteristic, the conditions specified in expression (4) should be satisfied.

$$\begin{aligned} I_{base} < i_{s2} & \quad \text{if} \quad I_{op} > k_1 \cdot I_{base} + I_{s1} \\ I_{base} \geq i_{s2} & \quad \text{if} \quad I_{op} > (k_2 \cdot I_{base} + (k_1 - k_2) \cdot i_{s2} + i_{s1}) \end{aligned} \quad (4)$$

The coefficients defined as  $k_1$  and  $k_2$  represent the characteristic of DDR and they are selected specifically for each relay. Due to the existence of high and variable current in the operating processes of EAFs, it is rather important to determine  $k_1$  value in particular. This value may be small for loads without non-linear and high currents. However, a minimum current of 5 kA is required to generate electric arc in EAFs. Therefore limiting of the base current is also high.

This should be taken into consideration when determining the limiting current in EAFs. Taking a low value for  $k_1$  will cause DDR to send a mal-operation

signal to breakers during the process of energizing the EAF and melting.

It is necessary for DDR to operate in a highly sensitive manner and minimize the failure rates. Elimination of component zero and adaptation of vector group may decrease the failure rate [43-44]. Thus, these techniques are used to distinguish internal and external faults occur in the protection zone of relay.

**A. Adaptation of the Vector Groups to Reduce the Error of Digital Differential Relay**

In order to reduce the failure rate of DDR, it is necessary to adjust the vector group adaptation of transformer. The conversion matrix presented in equation (5) is used to adjust the vector group. In this expression, k values show the phase shift coefficients of transformers depending on the connection group of transformer.

$$A = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(k \cdot 30)^\circ & \cos((k+4) \cdot 30)^\circ & \cos((k-4) \cdot 30)^\circ \\ \cos((k-4) \cdot 30)^\circ & \cos(k \cdot 30)^\circ & \cos((k+4) \cdot 30)^\circ \\ \cos((k+4) \cdot 30)^\circ & \cos((k-4) \cdot 30)^\circ & \cos(k \cdot 30)^\circ \end{bmatrix} \quad (5)$$

The vector group in transformers depends entirely on the application purpose of transformer. In arc furnaces, on the other hand, the step-down transformers supplying the furnace transformer generally use the YnYn0 type of vector group connection, and step-down transformers used in this study have this vector connection group. In this case, when it is accepted that k=0, expression (5) can be shown with conversion matrix T in equation (6) and this formula is used in adaptation of the vector group.

$$T = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

The basic block structure used for elimination of component zero and vector adaptation of a three-phase system is shown in Figure 3.

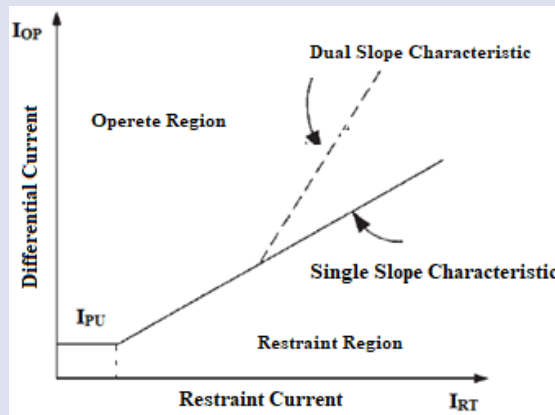


Figure 2. Basic characteristic curve of differential relay

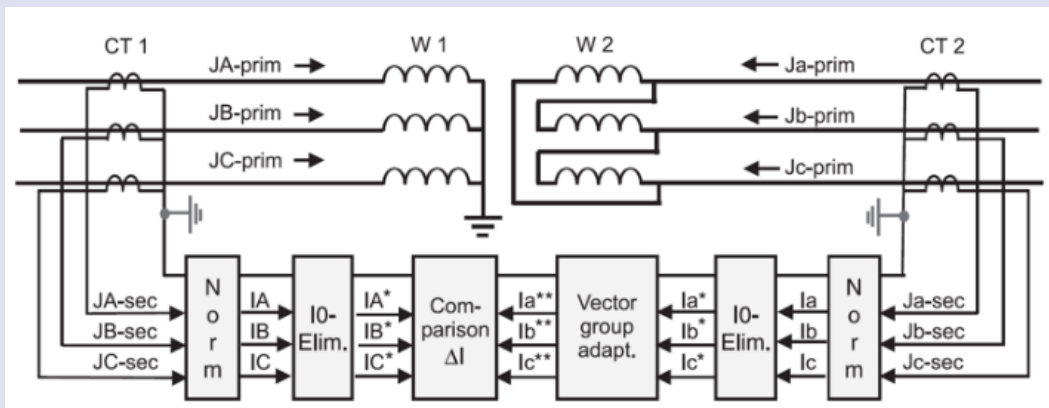


Figure 3. Basic block structure for elimination of component zero and vector group adaptation of a three-phase system [44].



### B. Zero-Sequence Elimination to Reduce the Error of Digital Differential Relay

Symmetrical components of a three-phase system are generally defined with expression (7). In order for the relay not to send a mal-operation signal, it is necessary to eliminate the value of component zero in this expression.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{a,0} \\ V_{b,0} \\ V_{c,0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{a,1} \\ V_{b,1} \\ V_{c,1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{a,2} \\ V_{b,2} \\ V_{c,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Depending on the phase currents, zero component expression is defined by the equation (8).

$$I_0 = \frac{1}{3} \cdot (I_a + I_b + I_c) \quad (8)$$

In case zero component is eliminated based on vector adaptation, eliminated phases are expressed with equation (9).

$$\begin{bmatrix} I_a^* \\ I_b^* \\ I_c^* \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (9)$$

### C. Defining of Algorithm for Digital Differential Relay

Flow chart of the protection algorithm designed for DDR is shown in Figure 4. This algorithm will send a trip signal to breaker in case of an error in the protection zone defined for transformer and the breakers will be

opened. Fast Fourier Transform (FFT) is used in calculation of harmonic values to accelerate the opening time of breaker. A power analyzer is connected to the 100 MVA step-down transformer to distinguish the inrush and fault currents are recorded. Based on these experimental measurements, appropriate slope coefficients ( $k_1$  and  $k_2$ ) and  $F_1$  and  $F_2$  constant are determined in the algorithm.

#### Measurement of Inrush and Harmonic Currents in 100 MVA Step-Down Power Transformer

HIOKI 3197 and Chauvin Arnoux (CA) 8332B power quality analyzers are connected to 100 MVA step-down transformer supplying the 60 MVA EAF furnace in Sivas Iron and Steel Plants Inc. (SIDEMIR) and experimental measurements are taken according to IEC 61000-4-7 and IEC 61000-4-30 standards.

Changes of harmonic values and inrush currents generated in charge, drill, melting and refined phases of EAF are recorded. Inrush current sample of three phases measured with HIOKI 3197 power quality analyzer from 100 MVA step-down transformer supplying EAF and 2nd harmonic changes of phase B measured with CA 8332B power quality analyzer are shown in Figure 5 and Figure 6 respectively. By using these experimentally obtained values, distinction between the fault and inrush currents are determined in the algorithm presented in Figure 4 and appropriate slope coefficients ( $k_1$  and  $k_2$ ), and  $F_1$ ,  $F_2$  values for stable operation of the relay are experimentally determined. In addition, non-linear V-I characteristic of EAF is experimentally defined by using the measured current and voltage waveforms [45].

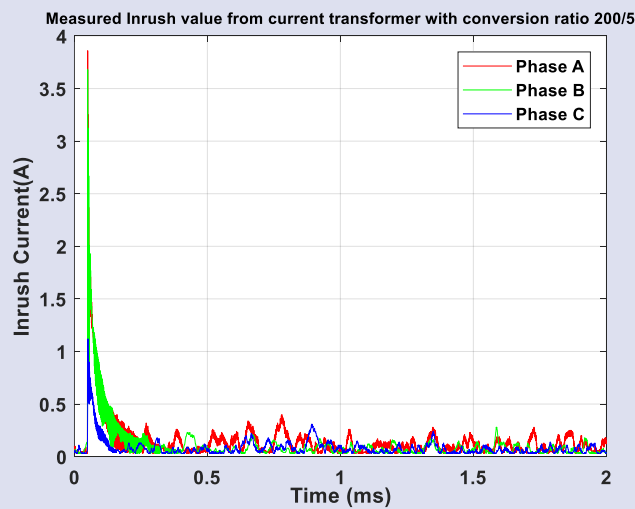


Figure 5. Inrush current waveform measured from 100 MVA step-down transformer supplying EAF with HIOKI 3197 power quality analyzer.

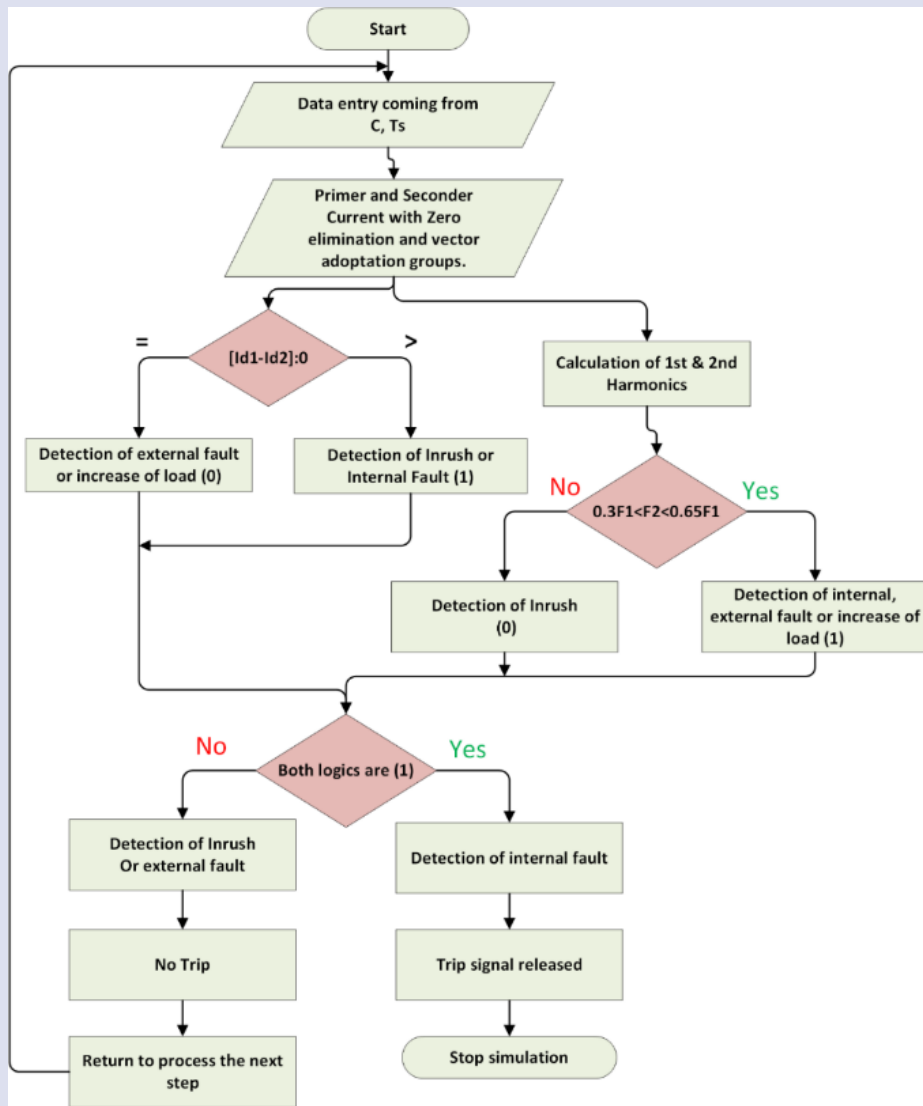


Figure 4. Digital Differential Relay Protection Algorithm..

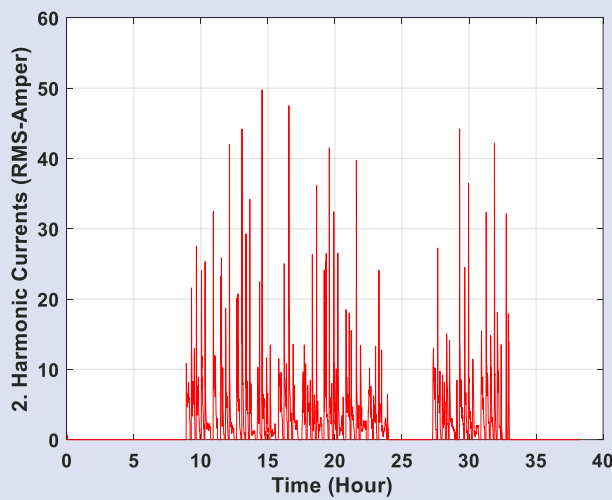
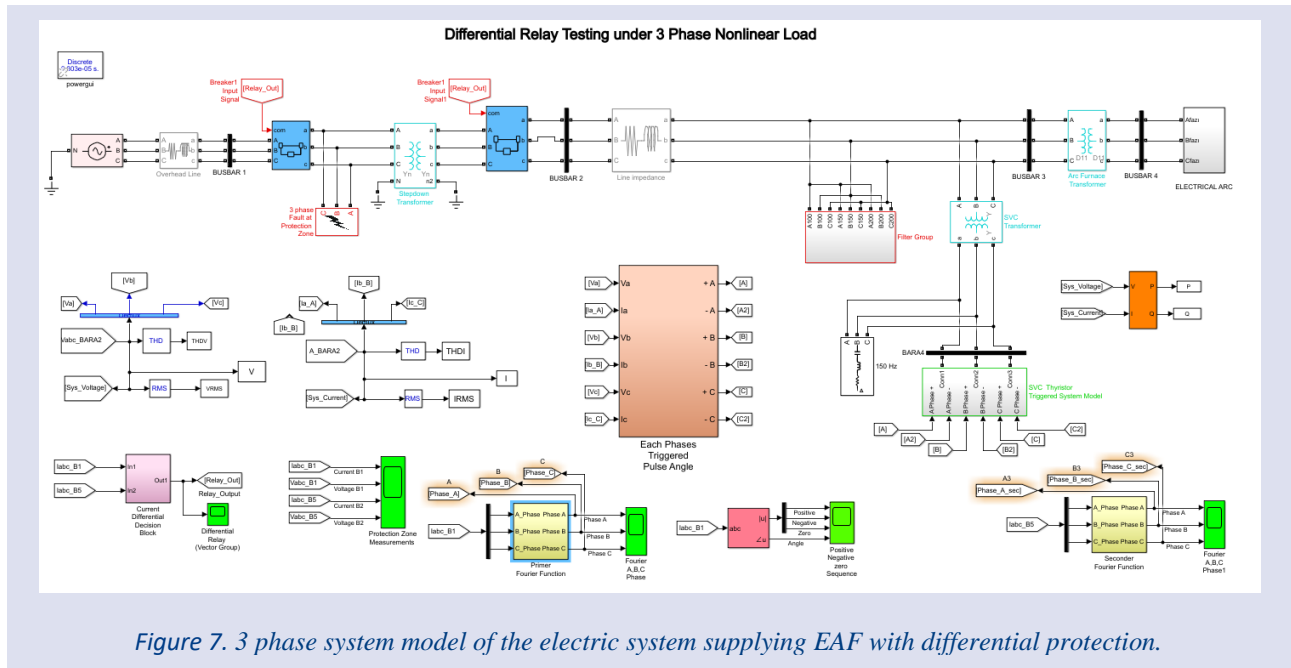


Figure 6. RMS variation of 2nd harmonic current of phase B at primer side measured from 100 MVA step-down transformer supplying EAF with CA 8332B power quality analyzer.

## Modelling of Three Phases Electrical System of EAF and DDR, Simulation Results

In modelling the electric system supplying EAF, the single-line diagram presented in [45] is used. The system supplies a 60 MVA EAF. The system includes a 36 MVar compensation and uses Static Var Compensation (SVC). The SVC system is designed to automatically adjust the firing angles of thyristor depending on reactive power compensation as shown in [46]. An 18 MVar 150 Hz single-tuned filter parallel to SVC system is used. 15.3 MVar 100 Hz C-Type High Pass filter, 10 MVar 150 Hz C-Type High Pass filter and 4.7

MVar 200 Hz single-tuned filter existing in the system are modelled for harmonic elimination [41]. Transformer parameters for EAF transformer, SVC transformer and step-down transformer are presented in appendices section. In order to test digital differential protection by using these data, three-phase system model of the electrical system is created with Matlab/Simulink as shown in Figure 7. In this model, V-I arc model tested with real experimental measurements given in [47] is used for the characteristic of electric arc.



To design the dual-slope differential relay, the algorithm structure given in Figure 4 is designed as matlab function block. By using the inrush and 2nd harmonic values obtained from experimental measurements, stable operation of differential relay is ensured and mal-operation trip signals are prevented. As seen from the experimental measurements, 2nd harmonic value reaches up to 50 A at the beginning of charging and melting processes of EAF. The reasons why this value is high in these processes are the instabilities at the beginning of melting process and short circuits caused by the contact of electrodes with metal. However, such circumstances don't cause any fault in the system and they occur due to the operation of the furnace. In case, there is a fault in the system, however, this value will be above 50 A and this should be supported with variance in inrush currents. Slope coefficients of the digital differential relay designed in the study are designed by taking the dynamic operating regimes in three operating processes of EAF. In order to

distinguish between the fault and inrush currents from each other, threshold values are determined based on inrush and harmonic currents obtained from experimental measurements. Sensitivity of digital differential relay is increased with vector component adaptation and elimination of zero and erroneous output signals are prevented, and stability of the relay is increased. The relay will create a trip signal when a fault occurs within the transformer protection zone and open the breakers. It will continue to operate normally outside the protection zone.

Test results regarding the occurrence of a three-phase fault in the 1st second within the protection zone of the tested DDR are shown in Figure 10-12 respectively. The relay doesn't trip outside the protection zone. The presented digital differential role is designed in the manner to detect different types of electrical faults intuitively. Opening times obtained in different types of faults are shown in Table 1.

Table 1. Opening time of DDR in different fault conditions

Fault Types					Opening time of relay (ms)
Phase A	Phase A	Phase A	Ground		
+	-	-	+	3.92	
-	+	-	+	3.23	
-	-	+	+	6.47	
+	+	-	+	3.14	
+	-	+	+	3.04	
-	+	+	+	6.76	
+	+	+	+	2.94	
+	+	-	-	3.03	
+	-	+	-	6.37	
-	+	+	-	6.58	
+	+	+	-	3.05	

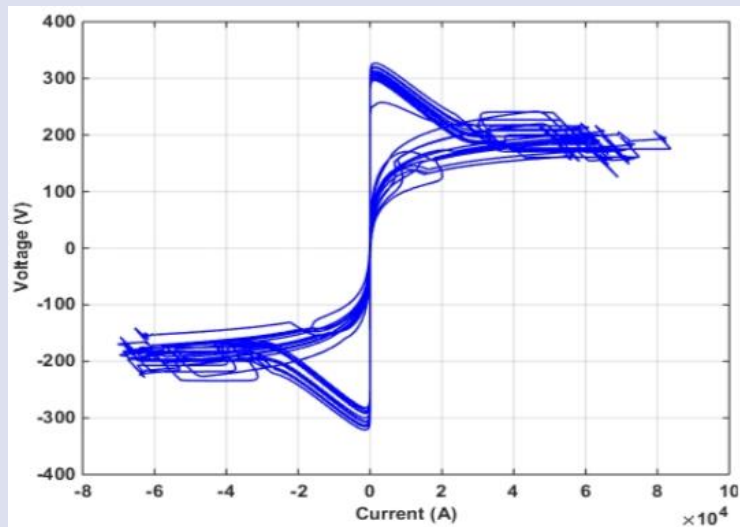


Figure 8. Dynamic V-I characteristic of electrical arc as result of simulation

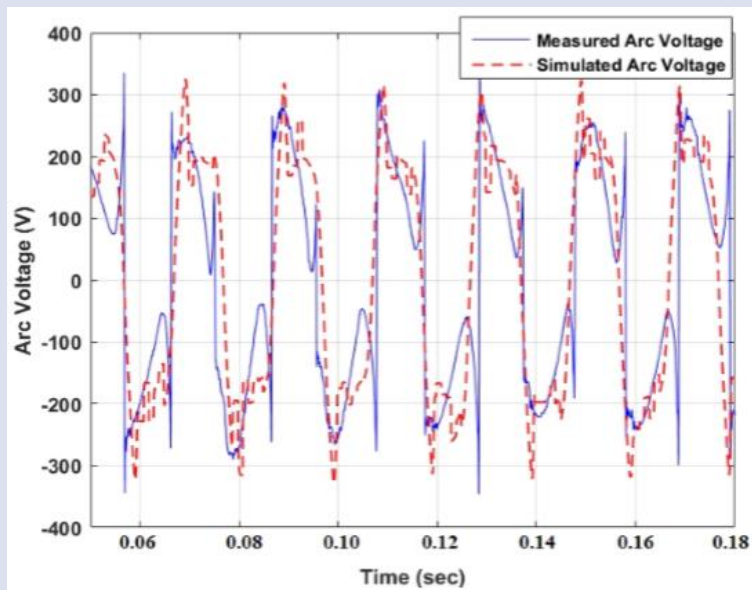


Figure 9. Comparison of the arc voltage variation with real time measurement and simulation results

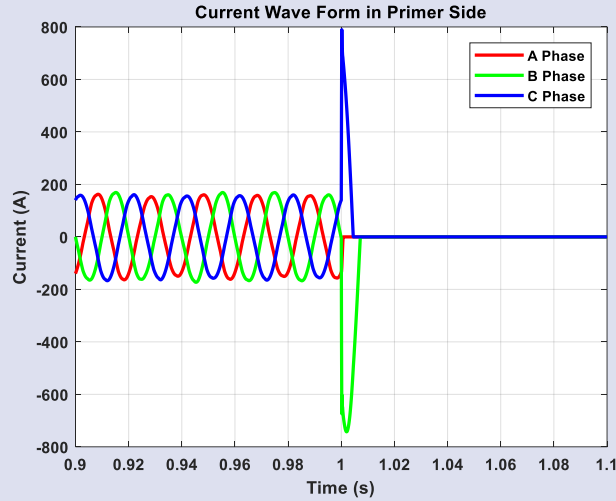


Figure 10. Current waveform in primer side under three-phase fault

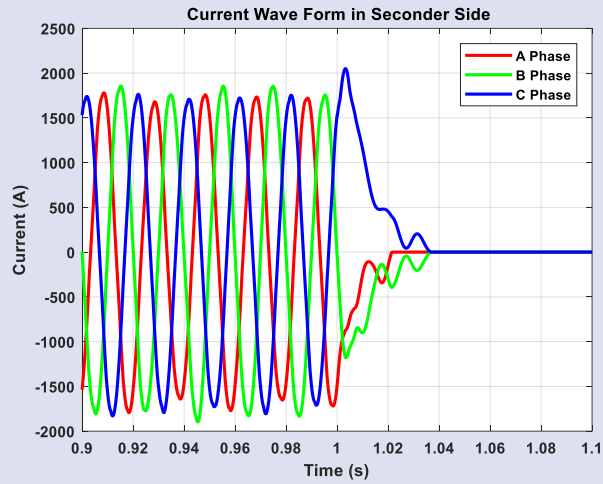


Figure 11. Current waveform in seconder side under three-phase fault

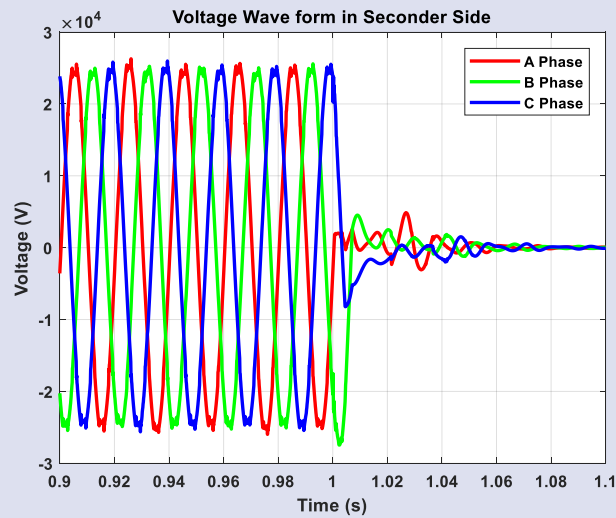


Figure 12. Current waveform in primer side under three-phase fault

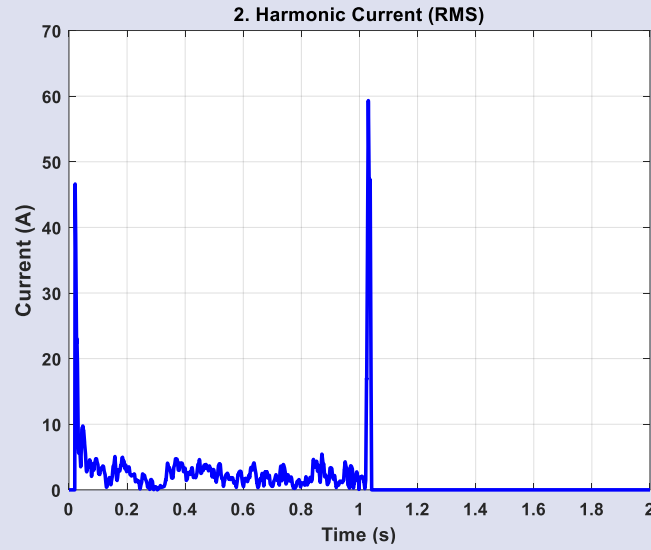


Figure 13. 2th harmonic RMS changes in secondary side under three-phase fault

## Conclusion

DDR design for 100 MVA power transformer supplying EAF is presented and operation of DDR under highly non-linear load is tested in this study. For this purpose, 3-phase model of the electrical system is modeled with Matlab/Simulink. The experimental results showed that  $k_1$  and  $k_2$  should be 0.4 and 0.6 respectively for stable operation of the relay and  $F_1$  and  $F_2$  coefficients presented in the algorithm should be  $0.3F_1 < F_2 < 0.7F_2$  for the Harmonic examination to be performed. The tests made in different faults of the relay based on these coefficients obtained from experimental measurements revealed that,

- The breakers don't open the system if the fault is outside the protection zone.

## References

- [1] A. Phadk, J. Thorp, Computer Relaying of Power System, Research Studies Press Ltd. United Kingdom, 1988.
- [2] Barış Gürsu, "Ceza Fanksiyonuyla Durdurmalı Genetik Algoritmalar ile Transformatör Merkezlerinde Optimum Aşırı Akım Röle Koordinasyonu", Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 29, No 4, 665-676, 2014.
- [3] J. Blackburn, T. Domin, Protective Relaying: Principles and Applications, Third ed., Taylor & Francis, 2006.
- [4] S. Horwitz, A. Phadke, Power System Relaying, 2nd ed. Herfordshire, United Kingdom, 1995.
- [5] M. Zaman, M. Rahman, "Experimental Testing of The Artificial Neural Network based Protection of Power Transformer", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 13 No. 2, pp. 510-517, April 1998.
- [6] T. Sidhu, M. Sachdev, H. Wood, M. Nagpal, "Design, Implementation, and Testing of a microprocessor-based high-speed relay for detecting transformer winding faults", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 7, No. 1, pp. 108-117, January 1992.
- [7] T. Sidhu, M. Sachdev, On-Line Identification of Magnetizing Inrush and Internal Faults in Three-Phase Transformers, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 7, No. 4, pp. 1885-1891, October 1992
- [8] P. Liu, D. Chen, Y. Guo, O.P. Malik, G.S. Hope, Improved Operation of Differential Protection of Power Transformer for Internal Faults, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 7, pp. 1912-1919, 1992.
- [9] M. Sanaye-Pasand, M. Zangiabadi, A. Fereidunian, An Extended Magnetizing Inrush Restrain Method Applied to Digital Differential Relays for Transformer Protection, IEEE Power Engineering Society General Meeting, Vol. 4, pp. 2077-2082, 2003.
- [10] M.E.H. Golshan, M. Saghayan-Nejad, A. Saha, H. Samet, A New Method for Recognizing Internal Faults from Inrush Current Conditions in Digital Different Protection of Power Transformer, Electrical Power System Research, pp. 61-71, 2004.



- [11] A. Aktaibi, M.A. Rahman, A Software Design Technique for Differential Protection of Power Transformers, Proceedings of IEEE Int. Electr. Mach. Drives Conference, pp. 1456-1461, 2011.
- [12] S.R. Wang, S. Kumar, V. Sreeram, Extraction of DC Component and Harmonic Analysis for Protection of Power Transformer, Proceedings of IEEE 8th Conf. Ind. Electron. Appl. (ICIEA), pp. 32-37, 2013.
- [13] A.G. Phadke, J.S. Thorp, A New Computer-Based flux-restrained current-differential relay for Power Transformer Protection, IEEE Transaction on Power Apparatus Systems, PAS-102, pp. 1456-146, 2011.
- [14] S. Member, A Novel Transformer Protection Method Based on the ratio of voltage and fluxional Differential Current, Proceedings of IEEE Transm Disturbance Conference Expo. pp. 342-347, 2003.
- [15] Y.C. Kang, B.E. Lee, S.H. Kang, Transformer Protection Relay Based on the Induced Voltage, International Journal of Electrical Power Energy Systems, Vol. 29, pp. 281-289, 2007.
- [16] K. Inagaki, M. Higaki, Y. Matsui, K. Kurita, M. Suzuki, K. Yoshida, T. Maeda, Digital Protection Method for Power Transformer Based on an Equivalent Circuit Composed of Inverse Inductance, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 29, pp. 281-289, 2007.
- [17] G. Baoming, A.T. Almeida, Z. Qionglin, W. Xiangheng, An Equivalent Instantaneous Inductance Based Technique for Discrimination between Inrush Current and Internal Faults in Power Transformers, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 20, pp. 4276-2483, 2005.
- [18] D.Q. Bi, X.H. Wang, W.X. Liang, W.J. Wang, A Ratio Variation of Equivalent Instantaneous Inductance Based Method to Identify Magnetizing Inrush in Transformer, Proceedings of 8th Conference Electr. Electr. Power Delivery, pp. 1775-1779, 2005.
- [19] K. Inagaki, M. Higaki, Digital Protection Method for Power Transformer Based on a Equivalent Circuit Composed of Inverse Inductance, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 3, No.4, pp. 1501-1510, October 1998.
- [20] K. Yabe, Power Differential Method for Discrimination between Fault and Magnetizing Inrush Current in Transformer, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 12, No. 3, pp. 1109-1117, July 1997.
- [21] A. Rahmati, M. Sanaye-Pasand, Protection of Power Transformer using Multi Criteria Decision Making, International Journal of Electrical Power Energy Systems, Vol. 68, pp. 51-63, 2014.
- [22] M. Shin, C. Park, J. Kim, Fuzzy Logic-based Relaying for Large Power Transformer Protection, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 18, pp. 718-724, 2003.
- [23] A. Wiszniewski, B. Kasztenny, A multi Criteria Differential Transformer Relay Based on Fuzzy Logic, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 10, pp. 1786-1792, 1995.
- [24] F. Zhalefar, M. Sanaye-Pasand, A new Fuzzy Logic Based Extended Blocking Scheme for Differential Protection of Power Transformer, Electrical Power Component System, Vol. 38, No. 6, pp. 675-694, 2010.
- [25] D. Barbosa, U.C. Netto, D.V. Coury, M. Oleskovicz, Power Transformer Differential Protection Based on Clarke's Transformer and Fuzzy Systems, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 26, pp. 1212-1220, 2011.
- [26] D. Bejmert, W. Rebizant, L. Schiel, Transformer Digital Protection with Fuzzy Logic Based Inrush Stabilization, Vol. 26, pp. 1212-1220, 2011.
- [27] M.R. Zaman, M.A. Rahman, Experimental Testing of Artificial Neural Network Based Protection of Power Transformer, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 13, pp. 510-517, 1998.
- [28] Z. Moravej, D.N. Vishwakarma, S.P. Singh, Application of Radial Basis Function Neural Network for Differential Relaying of a Power Transformer, Computational Electrical Engineering, Vol. 25, pp. 102-112, 2010.
- [29] M. Tripathy, R.P. Maheshwari, H.K. Verma, Power Transformer Differential Protection Based on Optimal Probabilistic Neural Network, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 25, pp. 102-112, 2010.
- [30] H. Balaga, N. Gupta, D.N. Vishwakarma, GA Trained Parallel Hidden Layered ANN based differential Protection of Three Phase Power Transformer, Electrical Power and Energy System, Vol. 67, pp. 286-297, 2015.
- [31] M. Kezunovic, A Survey of Neural Network Application to Protective Relaying and Fault Analysis, Engineering International Journal, Vol. 5, No. 4, pp. 185-192, December 1997.
- [32] J. Pihler, B. Gracar, D. Dolinar, Improved Operation of Power Transformer Protection using Artificial Neural Network, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 12, No. 3, pp. 1128-1135, July 1997.
- [33] H. Khorashadi-Zadeh, M. Sanaye-Pasand, Correction of Saturated Current Transformers Secondary Current Using ANN, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 21, No. 1, pp. 73-79, January 2006.
- [34] D. Guillen, H. Esponda, E. Vazquez, G. Idarraga-Ospina, Algorithm for Transformer Differential Protection Based on Wavelet Corelation Methods, IET General Transmission and Disturbance, Vol. 10, pp. 2871-2879, 2016.
- [35] O. Youssef, A Wavelet-based Technique for Discrimination between Faults and Inrush Currents in Power Transformers, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 18, No. 1, pp. 170-176, January, 2003.
- [36] M. Gomez-Morente, D.W. Nicoletti, A Wavelet-based Differential Transformer Protection, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 14, pp. 1351-1356, 1999.
- [37] H. Khorashadi-Zadeh, M. Sanaye-Pasand, Power Transformer Differential Protection Scheme based on wavelet transform and Artificial Neural Network Algorithms, Proceedings of 39th International Universities Power Engineering Conference, pp. 747-753, September, 2004.
- [38] S.A. Saleh, M.A. Rahman, Real Time Testing of WTP-based protection Algorithm for Three Phase Power Transformers, IEEE Transaction on Industrial Application, Vol. 41, pp. 1125-1132, 2005.
- [39] P. Mao, R. Aggarwal, A Novel Approach to the Classification of the Transient Phenomena in Power Transformer Using Combined Wavelet Transform and Neural Network, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 16, No. 2, pp. 215-218, April, 2001.
- [40] M.M. Eissa, A Novel Digital Directional Transformer Protection Technique Based on Wavelet Packed, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 20, pp. 1830-1836, 2005.
- [41] Mustafa Şeker, Computer Aided Modelling and Experimental Investigation of the effect of Electric Arc Furnace, İnönü University, Institute of Science and Technology, Electrical and Electronics Department, Ph.D Thesis, Malatya-Turkey, 2017.
- [42] B. Vahidi, E. Esmaeeli, Matlab-SIMULINK-Based Simulation for Digital Differential Relay Protection of

- Power Transformer for Educational Purpose', Computer Applications in Engineering Education , Volume21, Issue3, pp 475-483, September 2013
- [43] H. Zadeh, J.F. Wen, P. Liu, O.P. Malik, Discrimination between Fault and Magnetizing Inrush Current in Transformer Using- short-time Corelation Transform, Electrical Power and Energy System, Vol. 24, pp. 557-562, 2002.
- [44] G. Zigler, Digital Differential Protection, SIEMENS Differential Protection Symposium, 2005.
- [45] Seker, M., Memmedov, A.. An Experimental Approach for Understanding V-I Characteristic of Electric Arc Furnace Load. Elektronika ir Elektrotechnika, North America, 23, jun.2017.
- Availableat:<http://eejournal.ktu.lt/index.php/elt/article/view/18328>
- [46] Mustafa Şeker ; Arif Memmedov ; Rafael Hüseyinov , The modelling and simulation of static VAR compensator (SVC) system for electric arc furnace with Matlab/Simulink, 2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO), pp. 262 – 268, 2016,
- [47] Seker, M., Memmedov, A., Huseyinov, R., Kockanat, S.. Power Quality Measurement and Analysis in Electric Arc Furnace for Turkish Electricity Transmission System. Elektronika ir Elektrotechnika, North America, 23, dec. 2017.



## Examining the Potential of Sivas' Renewable Energy Resources and Providing its Energy Demand in Protecting the Environment and Energy Resources

Sevda Özel<sup>1,a,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Geophysics Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, 54104, Sivas, Turkey

\*Corresponding author

### Review Article

History

Received: 16/11/2023

Accepted: 28/12/2023

### ABSTRACT

In this article, research and examinations were carried out according to the purpose, and the results regarding renewable energy resources for Sivas were obtained and interpreted. Later, the maps prepared by institutions and organizations were arranged according to the purpose and added to the article. Finally, these were examined together. Accordingly, it was determined that Sivas' renewable energy potential is high and diverse. It was stated that the most important reason for this is the richness of its geographical, topographic and meteorological features, as well as its geology due to its basin feature. It was determined that being more than 1250 m above sea level and rich in plains, plateaus, mountains and rivers provide significant advantages. For this reason, it was determined that a serious energy production was achieved, especially in electricity generation, with HEP (Hydroelectric Power Plant), WPP (Wind Power Plant) and SPP (Solar Power Plant) power plants. It was determined that various productions were made with other power plants and the diversity increased. As a result, it was determined that renewable energies have an important place in Sivas' energy resource needs and that investments to add new ones to existing power plants continue. It is thought that in the future, Sivas' energy needs can be met with renewable and clean energy. Thus, air, water and soil pollution in Sivas can be reduced and pollution can be prevented. It was also stated that preparation should be made for the situation of overproduction and new national-international strategies should be developed.

**Keywords:** Sivas (Türkiye), renewable energy, energy source, productions, environmental protection, sustainability.

## Çevre ve Enerji Kaynaklarını Korumada Sivas'ın Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Enerji Talebini Karşılamanın İncelenmesi

Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### Öz

Bu makalenin amacına yönelik araştırma ve incelemeler yapılarak, Sivas için yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin sonuçlar elde edilmiş ve yorumlanmıştır. Bu amaçla araştırmalardan elde edilen bilgilere göre önce tablolar hazırlandı. Daha sonra kurum ve kuruluşların hazırladığı haritalar amaca göre düzenlenip, makaleye eklendi. Son olarak, bunlar birlikte irdelendi. Buna göre, Sivas'ın yenilenebilir enerji potansiyelinin yüksek ve çeşitli olduğu belirlendi. Bunun en önemli nedeninin, havza özelliğinden dolayı jeolojisinin yanı sıra, coğrafi, topografik ve meteorolojik özelliklerinin zenginliğinin etkili olduğu ifade edildi. Deniz seviyesinden 1250 m'den daha fazla yüksek olması, ova, yayla, dağ ve akarsu zenginliğinin önemli avantajlar sağladığı belirlendi. Bu nedenle HES (Hidroelektrik Santral), RES (Rüzgar Enerji Santrali) ve GES (Güneş Enerji Santrali) ile özellikle elektrik üretiminde ciddi bir enerji üretimi sağlandığı belirlendi. Diğer santrallerle de çeşitli üretimler yapıldığı ve çeşitliliğin arttığı belirlendi. Sonuç olarak, Sivas'ın enerji kaynağı ihtiyacı içerisinde yenilenebilir enerjilerin, önemli bir yer tuttuğu ve mevcut santrallere yenilerinin eklenmesine yönelik yatırımların devam ettiği belirlendi. Gelecekte, Sivas'ın enerji ihtiyacının yenilenebilir ve temiz enerji ile karşılanabileceği düşünülmektedir. Böylece, Sivas'ta hava, su ve toprak kirliliğinin azalması sağlanabilir ve kirlilik önenebilir. Ayrıca, aşırı üretim durumuna hazırlık yapılması ve yeni ulusal-uluslararası stratejilerin geliştirilmesi gerektiği de ifade edildi.

**Anahtar Kelimeler:** Sivas (Türkiye), yenilenebilir enerji, enerji kaynağı, ürünler, çevresel koruma, sürdürülebilirlik.

sozel@cumhuriyet.edu.tr



**How to Cite:** Özel S (2023) Examining the Potential of Sivas' Renewable Energy Resources and Providing its Energy Demand in Protecting the Environment and Energy Resources, Journal of Engineering Faculty, 1(2): 105-117

## Çevre-Enerji Kaynakları ve Dünya-Türkiye’de Üretilen Enerjiler

### Çevre ve enerji kaynakları ilişkisi

Çevre ve enerji kaynakları birbirinden bağımsız değildirler. Tüm enerji kaynakları çevrenin zaten içinde olan kaynaklardır. Bu nedenle birbiriyle ilişkili değerlendirilmelidir. Bilindiği gibi insanların ve diğer canlıların-bitkilerin yaşamları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde buldukları fiziki, biyolojik, sosyal, ekonomik ve kültürel ortama çevre denir. Başka bir ifadeyle, doğal ve yapay ortamların bir arada olduğu, en küçük bir organizmanın bile var olduğu ortam ya da şartları olan sürdürülebilir yaşamsal alanların hepsi, çevre olarak tanımlanabilir. Diğer yandan sağlıklı bir yaşamın sürdürülmesi ise ancak sağlıklı bir çevre ve enerji kaynakları ile mümkündür. Bu nedenle, günümüzde çevresel sorunlar ve etkilerinin olması ve talebi karşılayacak yeterli enerjinin olmaması, tüm toplumlarda karşılaşmak istemedikleri bir durumdur. Bunun temel nedeni, insanların ve diğer canlıların-bitkilerin, yaşamlarını ve karşılıklı olarak etkileşim içindeki yaşam boyu ilişkilerini sürdürebilmeleri için gerekli her türlü enerji kaynağının sürdürülebilir olmamasıdır. Yaşamsal bir ihtiyaç olan enerji olduğu sürece, yaşamsal bir çevre de olasıdır. Dolayısıyla doğal ve yapay ortamların bir arada olduğu bir ortamda her canlının var olabilme koşulu, hayatta kalabilmesini sağlayan enerji türlerine sahip olması ile mümkündür. Bu durum, günümüz toplumsal hayatı için de geçerli olan bir gerçekliktir. Bu nedenle enerji kaynağı olması, gerekli ve zorunlu olan yaşamsal bir gereçtir. Aynı zamanda, çevresel sorunlar ve bunların etkilerinin, enerji kaynaklarını olumsuz yönde etkilememesi de istenen bir durumdur. Çünkü çevre sorunlarının ve enerji kaynakları ihtiyacının artmasının temel sebepleri birbiriyle ilişkidir. Örneğin nüfus artışı, yetersiz enerji, eğitimdeki aksaklıklar, çarpık kentleşme, bir bölgede yoğun kentleşme ve kontrolsüz nüfus artışı (göç, sığınma, mülteci, vb) olması, sağlıksız sanayileşme, azalan ve tükenen canlı-bitki türleri/enerji kaynakları ve iklim değişikliği (toprak, su, hava kirliliği ve kuraklık kaynaklı kayıplar) günümüzdeki temel sebeplerdir. Ancak tüm bunların, başlıca insan kaynaklı kirliliğin ve kirlilik endüstrisiyle birlikte enerji talebinin artarak devam etmesinden ortaya çıktığı da açıkça gözlenmektedir. Bu nedenle günün ihtiyaçlarını, gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin karşılamak zorunludur. Bu ise sürdürülebilirlikle sağlanabilir ve bunun için “sürdürülebilir kalkınma-çevre bilinci-yaşanabilir dünya” bir döngü ve dönüşüm içinde süreklilik içermelidir. Çevre ve enerji kaynakları veya sorunları/etkileri bir bütün olarak düşünülmalıdır. Yaşam kalitesinin sürdürülebilir olması buna bağlıdır. Aksi takdirde, su-toprak-hava kirlilikleri başta olmak üzere diğer

kirlilik türleri (gürültü, görüntü, koku) ile de karşılaşılacaktır. Özellikle su-toprak-hava kirlilikleri tükenen enerji kaynaklarıyla birlikte, bunlar kaynaklı sürdürülebilir yaşamsal kaynakların korunmasını sağlamak için olduğu gibi, yeni türde başka enerji olanaklarını da düşündürmektedir. Çünkü yenilemez enerji kaynakları (kömür, petrol, doğalgaz, U, Th) hem tükenmekte hem de çevre sorunlarına temel kaynaklar oluşturmaktadırlar. En önemlisi de toprak, su ve hava kirliliği olarak çevreyi kirletirken, yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş, su, rüzgar, jeotermal, vd.) kullanılmasını da tehlikeye düşürmektedir. Örneğin temiz su olmazsa HES (Hidroelektrik Enerji Santrali)’ler kullanılamaz, hava kirliliği olursa yeterli güneş kaynağı olmaz. Bu yüzden günümüzde yenilemez enerji kaynaklarına alternatif yenilenebilir ve temiz enerji kaynakları geliştirilmiştir. Enerji üretmede gittikçe artan ve tercih edilen enerji kaynakları olarak çevre dostu kaynaklar, artık öncelikli kullanılmaktadırlar. Örneğin elektrikli araba, jeotermal su ile kentsel yapıları veya işletmeleri ısıtma, tarım yapma, elektrik enerjisi üretme, organik evsel ve tarımsal atıklarla elektrik enerjisi üreterek enerji ihtiyacının karşılanması gibi daha birçok örnek, modern yaşamda yerini aldı. Arge çalışmaları devam ederken, bunlara her gün yeni kullanım türleri ve enerji üretme teknikleri ve teknolojileri eklenmektedir veya enerji üretim kapasitesi artırılmaktadır.

### Dünyada ve Türkiye’de enerji kaynaklarının ve üretilen enerjinin genel durumu

Dünyada ve Türkiye’de enerjinin genel durumuna bakıldığında, gelişen teknolojiler sayesinde enerji kaynağı çeşitliliğinin de artmasıyla birlikte, çeşitli enerji üretim türleri ortaya çıkarma fırsatı da oluşmuştur (Tablo 1). Örneğin kömür önce bir ısınma aracı iken zamanla elektrik de üretilen ve çeşitli sanayiler için hammadde kaynağı da olan bir enerji kaynağına dönüşmüştür. Benzer şekilde petrol ve diğerleri için de örnekler çoğaltılabilir. Ancak, dünyada olduğu gibi Türkiye’de de özellikle artan nüfus, artan kentleşme ve sanayileşme ile paralel olarak, enerjiye olan talep de artmaktadır. Enerjiler veya ham maddelere, ister yenilenebilir ister yenilenebilir enerji kaynağı ile üretilsin ihtiyaç her geçen gün artıyor. Bu enerji türleri ve üretilen ürünler Çizelge 1’de karşılıklı verilmektedir. Çizelge 1’de görüldüğü üzere yenilenebilir ve yenilemez en çok kullanılan enerji kaynakları ve en çok üretilen enerjiler ülke/bölge/yer ile sıralanarak tabloda sunulmaktadır. Bu makale için hazırlanan Tablo 1’e göre, Türkiye’de tüm yenilenebilir enerji türleriyle üretim yapıldığı görülebilir. Dolayısıyla gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarıyla daha fazla alanda daha çok enerji üretimi yapılacağı da söylenebilir.

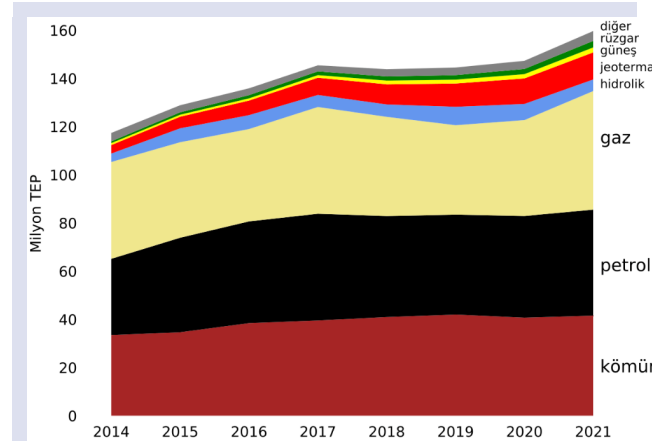
Çizelge 1. Dünya’da ve Türkiye’de enerji türleri ve en çok üretim yapılan yerleri.

Table 1. Types of energy and the places where they are most produced in the world and in Turkey.

Dünya’da günümüzde YENİLENEBİLİR enerji kaynağı türleri ve en çok üretim yapılan ülke	Dünya’da günümüzde YENİLENEMEZ enerji kaynağı türleri ve en çok üretim yapılan ülke	Türkiye’de günümüzde YENİLENEBİLİR enerji kaynağı türleri ve en çok üretim yapılan il/bölge	Türkiye’de günümüzde YENİLENEMEZ enerji kaynağı türleri ve en çok üretim yapılan il/bölge
Hidrolik enerji (Çin)	Kömür (Çin)	Hidroelektrik enerji (Şanlıurfa)	Kömür (Zonguldak, Manisa)
Güneş enerji (Çin)	Petrol (Suudi Arabistan)	Güneş enerji (Bingöl)	Petrol (Batman)
Biyokütle Enerjisi (ABD)	Doğal gaz (ABD)	Biyokütle enerji (İstanbul)	Doğalgaz (Trakya bölgesi)
Rüzgar enerji (Çin)	Uranyum (Kazakistan)	Rüzgâr enerji (İzmir)	
Jeotermal enerji (ABD)	Toryum (Hindistan)	Jeotermal enerji (Aydın)	
Dalga ve gel-git enerjisi (İngiltere)		Dalga enerjisi (ilk Sakarya, Ege ve Batı Karadeniz bölgesi)	
Hidrojen enerjisi (Çin)		Hidrojen enerjisi (Bozcaada, Güney Marmara)	

Türkiye’de enerji kaynakları genel durumu incelendiğinde ise 2023 yılı Mart ayı sonu itibarıyla kaynaklara göre dağılımı; %30.3’ü hidrolik enerji, %24.3’ü doğal gaz, %20.9’u kömür, %11’i rüzgâr, %9,4’ü güneş, %1.6’sı jeotermal ve %2.5’i ise diğer kaynaklar şeklindedir (Şekil 1). Türkiye’de yenilenemez enerji talebi yeterli üretim yapılmadığı için farklı kaynaklardan karşılanmaktadır. Buna göre ülkemizde yenilenemez kaynaklarla üretilen enerjiler farklı kaynaklarla desteklenmektedir. Örneğin ham petrol Irak, Rusya, Suudi Arabistan, Kuveyt ve Kazakistan’dan ithal edilmektedir [1]. Türkiye’de kömür, en çok düşük kaliteli olan linyittir. Aynı zamanda Türkiye’de sera gazı emisyonlarının üçte biri kömürden ortaya çıksa da Türkiye’nin enerji politikası kömür santrallerini mali olarak desteklemeye devam etmektedir. Türkiye’nin doğal gazda dışa bağımlılığı %98.8’dir ve doğal gazın %50’si elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Türkiye doğal gazı talebini kalan kısmını ise başta en çok Rusya olmak üzere İran, Azerbaycan, Cezayir ve Nijerya’dan sağlamaktadır. Ancak son yıllarda Türkiye’de Karadeniz başta olmak üzere birçok yerde yeni doğalgaz alanları keşfedilmesine rağmen, bu enerji kaynağı yenilenemez bir kaynaktır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme devam edecektir. Tablo 1 ve Şekil 1’de incelenirse, Türkiye’de yenilenebilir enerji talebi sürmekte olup, bu konuda önemli bir ihtiyacı karşılayacak enerji üretimi de oluşmaya başlamıştır.

Türkiye’de üretim yapmada kullanılan yenilenemez enerji kaynağı türleri listesine göre petrolde Batman, kömürde Zonguldak-Manisa, doğalgazda Trakya bölgesi ilk sıradadır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun (EPDK), 2020 yılı doğal gaz sektör raporuna göre ise Türkiye’de doğal gaz üretimi yapılan iller Adıyaman, Çanakkale, Düzce, Edirne, İstanbul, Kırklareli ve Tekirdağ olarak en çok üretim yapılan illerdir [2].



Şekil 1. Türkiye’de birincil enerji arzında, enerji türüne göre talep edilen enerji paylarının ulusal enerji denge tablosu [1].

Figure 1. National energy balance table of the energy shares demanded by energy type in the primary energy supply in Turkey [1].

Diğer yandan, Türkiye’de kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı türleri listesine göre Türkiye temiz enerji haritasında, İzmir rüzgar, Konya güneş, Aydın jeotermal, Şanlıurfa hidroelektrik ve İstanbul biyokütle alanında kapasite olarak lider şehirlerdir. Ayrıca, Bingöl’deki Aşağı Kaleköy Hibrit Güneş Enerji Santrali Tesisi (GES) Türkiye’nin ilk ve Avrupa’nın en büyük, dünyanın ise ikinci büyük hibrit enerji santralidir. Bozcaada’daki hidrojen enerjisi santralinde ise hidrojen üretim yöntemlerinden suyun direkt elektrolizi ile üretim yapılmaktadır. Dalga enerjisi ise ilk Sakarya’da kurulmuş olup, günümüzde Ege ve Batı Karadeniz en iyi üretim bölgesi olarak ilk sıradadır. Dolayısıyla gelecekte Türkiye’de en çok üretim yapılan illere göre enerji türü

listesi Tablo 1’de görünenden farklı olacaktır. Tablo 2’de ise Türkiye’de yenilenemez ve yenilebilir enerji türlerine göre en çok yapılan üretim türleri sunulmaktadır. Buna göre yenilenebilir enerji kaynağı çeşitliliğinin fazlalığı ve üretilen enerji türleri çeşitliliği dikkat çekmektedir. Nükleer enerjide ise U ve Th ile ısı ve elektrik üretimi yapılmaktadır. Doğalgaz, kömür ve petrol, ısı ve elektrik üretimi sağlamada kullanılırken, petrol hammadde üretimi sanayide malzeme (deterjan, plastik, kozmetik ürünlerinin ve diğer kimyasalların üretiminde) üretiminde, benzin, mazot, asfalt, zift, katran üretiminde ve kömür

yakıt ve çeşitli sanayilerinde hammadde ve farklı amaçlar için kullanılmaktadırlar. Dolayısıyla Türkiye’de bu yenilenemez enerji kaynaklarıyla hala üretim devam etmektedir. Oysa günümüzde dünyada olduğu gibi Türkiye’de de bu enerjilerin dışında yenilenebilir kaynaklar da artık yaygın olarak kullanılmaktadır (Tablo 2). Tablo 2’de sunulduğu gibi Türkiye’de en yaygın enerji kaynakları ve elde edilen enerji/üretim türleri gelecekte çoğunlukla yenilenebilir enerji kaynaklarıyla sağlanabilir ve üretilen enerji ve ürünlerde daha fazla çeşitlilik olabilir.

Çizelge 2. Türkiye’de enerji türleri ve bunlara göre yapılan üretimler.  
Table 2. Types of energy in Turkey and production based on them.

YENİLENEMEZ enerji kaynağı	YENİLENEMEZ enerji ile yapılan üretim	YENİLENEBİLİR enerji kaynağı	YENİLENEBİLİR enerji ile yapılan üretimler
Kömür	Isı ve elektrik üretimi, hammadde üretimi	Hidrolik enerjisi	Elektrik üretimi
Petrol	Isı ve elektrik üretimi, hammadde üretimi	Güneş enerjisi	Isı ve elektrik üretimi
Doğal gaz	Isı ve elektrik üretimi	Biyokütle Enerjisi	Biyogaz, etanol, hidrojen, metanol, metan, motorin yakıtlarının üretimi, ısı-elektrik üretimi
Uranyum	Isı ve elektrik üretimi	Rüzgar enerjisi	Isı ve elektrik üretimi
Toryum	Isı ve elektrik üretimi	Jeotermal enerji	Isı ve elektrik üretimi, CO <sub>2</sub> üretimi, turizm, sağlık
		Dalga ve gel-git enerjisi	Elektrik üretimi
		Hidrojen enerjisi	Isı ve elektrik üretimi

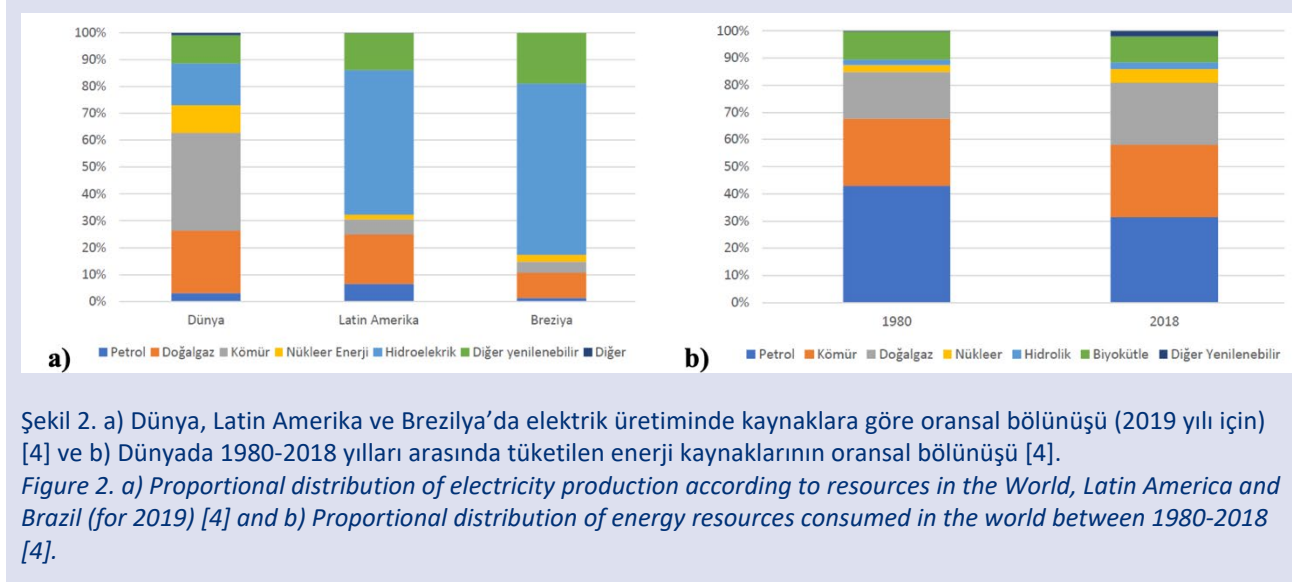
Sonuç olarak, Türkiye’nin küresel enerji ticaretindeki rolü önemlidir. Türkiye, kendi bölgesinde, enerji ticaretinde merkez ülke konumuna ulaşmayı amaçlamaktadır. Bu hedefe yönelik olarak, bölgede önemli doğalgaz ve petrol boru projelerini hayata geçirmiş veya hayata geçirilmesine de öncülük etmiştir (Bakü-Tiflis-Ceyhan ham petrol boru hattı (BTC), Güney Kafkasya doğal gaz boru hattı (SCP), Bakü-Tiflis-Erzurum (BTE) doğal gaz boru hattı, Türkiye-Yunanistan doğal gaz enter konektörü (ITG), Trans Anadolu doğal gaz boru hattı (TANAP), Türk akım ve Trans Adriyatik boru hattı (TAP) projeleri). Bunlar dikkate alındığında, Sivas aynı zamanda bu hatlardan bazılarının geçiş güzergahı üzerinde (Sivas’ın doğusu) olduğu için önemli bir konumdadır. Bu nedenle yenilenemez enerji kaynaklarının geçtiği hatlar üzerinde olmasına rağmen, yenilemez enerji kaynaklarına da yatırım yapılan bir ildir [3]. Ayrıca özellikle jeotermal, rüzgar, güneş, su kaynaklı enerjiler başta olmak üzere, kaynak türü ve üretilen ürün çeşitliliği de artmaktadır. Örneğin, sahip oldukları zengin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli nedeniyle Latin Amerika ülkeleri diğer ülkelere göre daha fazla oranda yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadırlar [4] (Şekil 2.a). Bölgede özellikle son yıllarda başta hidrolik enerji olmak üzere rüzgâr, güneş ve modern biyokütle kaynaklarına bağlı bir üretim-tüketim dengesi söz konusudur. Bu şekilde, dünyada da hem fosil enerji kaynakları yönü ile dışa bağımlılık azalmakta, hem de

çevre konusunda olumlu adımlar da atılmaktadır [4] (Şekil 2.b). Dolayısıyla hem Türkiye hem de Sivas için yenilenebilir enerji potansiyeli mutlaka ilgili kurum ve kuruluşlarca, gündemde ve değerlendirmede olan bir konu olacaktır. Bu konuda [5] çalışmasında Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynaklarından zengin bir altyapıya ve hammaddeye sahip olması nedeniyle yatırımların artırılması ve yaygınlaşması sağlandığında, dışa bağımlılığın azaltılmasının hedeflenebileceği gibi gelecekte temiz, güvenilir ve yenilenebilir enerjinin Türkiye’nin ekonomik kalkınmasına fayda da sağlayacağını ifade etmesi dikkat çekmektedir. [6] ise Türkiye ve OECD ülkelerinin biyokütle kaynaklı elektrik enerjisi üretimini araştırarak bunu etkileyen değişkenlerin etkinlik derecesinin belirlemiş ve Türkiye’nin gerekli stratejilerinin belirlenmesine katkısını incelemiştir. Böylece biyokütle ve atıklardan elde edilen enerji üretimi üzerinde Türkiye’nin etkili bir değişken olduğunu ortaya koymuştur.

Diğer yandan [7] çalışmasında önemli bir sıcaklık derecesi olarak >100 OC için ülkenin jeotermal potansiyelini hesaplamıştır. [8] ise 100 ve 500 m derinlik için ülkedeki jeotermal kaynakların büyüklüğünü ve buralardan elde edilebilecek güç üretim potansiyellerini belirlemek için Türkiye’nin yeraltı jeotermal sıcaklık dağılımını belirleyen ek bir çalışma daha yapmışlardır. Buna göre ise mevcut ilksel bilgiler ışığında 100-500 m derinlikler için hesaplanmış sıcaklık dağılımı haritalarını



hazırlayarak üretim potansiyelinin arttırılabileceğini göstermişlerdir. [9] çalışmalarında, jeotermal kaynakla elektrik üretim miktarının arttırılması yönünde çalışmaların devam etmesinin ülke ekonomisi için önemli olduğunu belirlemişlerdir.



Şekil 2. a) Dünya, Latin Amerika ve Brezilya'da elektrik üretiminde kaynaklara göre oransal bölünüşü (2019 yılı için) [4] ve b) Dünyada 1980-2018 yılları arasında tüketilen enerji kaynaklarının oransal bölünüşü [4].

Figure 2. a) Proportional distribution of electricity production according to resources in the World, Latin America and Brazil (for 2019) [4] and b) Proportional distribution of energy resources consumed in the world between 1980-2018 [4].

[10] ise Türkiye'nin termal su kaynaklarını coğrafi açıdan değerlendirerek, güneydoğu Anadolu bölgesi dışında iyi bir potansiyel olması nedeniyle ısı ve elektrik üretimine önem verilmesini ve tarım ve turizmde daha fazla yatırım yapılarak bu eksikliğin giderilmesini de önermiştir. [11] ise jeotermal santral miktarından ve atıklarından dolayı çevrenin korunmasına dikkat çekerek ve jeotermal enerjinin gelecekteki önemini de vurgulayarak birçok öneride bulunmuştur. Bu önerilerden en önemlisi termik santrallerle karşılaştırarak yaptığı öneridir. Bu santral türlerinin çevresel sorunlarını ve etkilerini sıralayarak, toprak ve su kirliliği sorunlarının boyutu nedeniyle yeniden jeotermal rezervuar değerlendirmesi yapıлып, önlem alınmasını önermiştir. Benzer çevre sorunları ve etkileri, diğer yenilenebilir enerji türlerinde de ortaya çıkmaktadır. Bunlar gürültü/toz vb. kaynaklı hava kirliliği, ses kirliliği gibi sorunlar ve etkilerdir. Bunlarla ilgili olarak yer seçiminde ÇED (Çevresel Etki Değerlendirme) çalışmaları öne çıkmaktadır ve önceden önlemler alınabilmektedir. Sonuç olarak, yenilenebilir enerjiler her ne kadar temiz enerji olsa da dikkat edilmezse, çevresel sorunlara ve etkilere sebep olabilirler. Bu nedenle yer seçiminden, işletme süreci de dahil olmak üzere ÇED raporlarına uyumlu üretim yapılması zorunlu olmaktadır.

### Sivas'ın Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Yapılan Üretimler

Sivas ili de çeşitli kirlilik sorunları ve enerji ihtiyaçları olan illerimizden biridir. Isınma ve elektrik üretiminde hala yüksek miktarda kömür kullanması ve jeolojisi gereği evaporit bir havza olması nedeniyle jips kaynaklı tuzlara maruz kaldığı için hava, toprak ve su kirliliği yüksek olan illerden biridir. Günümüzde gelişmekte olan bir

sanayisinin oluşmaya başlaması ise kirlilik sorunlarını ve enerji ihtiyacını gün geçtikçe arttırmaktadır. Bulunduğu yakın coğrafyalarda ortaya çıkan deprem vb, olaylar nedeniyle de nüfus alan illerden biri olmuş olup, nüfusu gelecekte artabilecek bir ile de dönüşebilir. Tüm bu durumlar, Sivas'ta enerji ihtiyacı oluşturmakla birlikte yenilenemez enerjinin tüm dünyadaki azalma durumu da bilindiğinden, Sivas'ta da yenilenebilir enerjiye geçişler başlamıştır. Özellikle coğrafi, meteorolojik, jeolojik ve topoğrafik özelliklere göre HES dışındaki farklı türde yenilenebilir enerji santralleri de kurulmuş ve kurulmaya devam etmektedir. Özellikle elektrik üretiminde, Sivas'ta 2022 yılı itibariyle 30 elektrik santralinde yılda yaklaşık 3.751 GWh ile Sivas'ın elektrik tüketiminin 1.9 katını karşılayan elektrik üretilmekte olması dikkat çekmektedir [12]. Bu santrallerden biri (Kangal Termik Santrali) dışında diğer hepsi yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretmektedirler. Bunların çoğunluğu ise hidrolik kaynak ile elektrik üreten HES'leridir. İkinci sırada rüzgar kaynağı ile üretim yapan RES (Rüzgar Enerji Santrali) ve daha sonra güneş kaynaklı üretim yapan GES (Güneş Enerji Santrali) santralleri, elektrik üretimi yapan diğer santral türleri olarak ilk sıralarda yer almaktadırlar. Böylece önemli bir enerji üretimi başlamıştır ve gelecekte yeni yatırım planlarıyla daha da artabilir.

Sivas'ta en yaygın enerji kaynakları ve elde edilen enerji/üretim türleri incelenerek, Tablo 3 hazırlanmış ve enerji türüne göre yapılan üretimler, bu tabloda ayrıntılı sunulmuştur. Buna göre, yenilenebilir enerji kaynakları çeşitlidir. Yeraltı kaynağı olarak jeotermal, hammadde kaynaklı olarak biyogaz, yüzey suyu kaynağı olarak hidrolik ve atmosferik kaynak olarak ise güneş, rüzgar enerji kaynakları mevcuttur. Tüm bu kaynaklar incelendiğinde, farklı türde üretimler yapıldığı gözlenmektedir. En çok ısı ve elektrik üretimi yapılsa da biyokütle enerji kaynağı ile

biyogaz, etanol, hidrojen, metan, metanol ve motorin gibi yakıtlar üretildiği görülmektedir. Bu çeşitlilik önemli olup, yeni projeler ortaya konulmasında da yol gösterici ve teşvik edici olacaktır. Bu nedenle gelecekte daha fazla üretim olabileceği ön görülmektedir.

Yenilenemez enerji kaynaklarıyla üretilen enerjiler Sivas'ta kömür kaynaklı olup, ısı ve elektrik üretimi, yakıt ve enerji dışında çeşitli sanayilerinde hammadde ve farklı amaçlar için de kullanılmaktadır. Ancak Sivas ilinin aslında,

**Çizelge 3. Sivas'ın yenilenebilir enerji kaynaklarına göre enerji türleri ve bunlara göre yapılan üretimler.**

*Table 3. Energy types according to Sivas' renewable energy sources and production based on them.*

YENİLENEBİLİR enerji kaynakları	YENİLENEBİLİR enerji ile yapılan üretimler
Atmosferik kaynaklar	
*Güneş enerjisi	Isı ve elektrik üretimi
*Rüzgar enerjisi	Isı ve elektrik üretimi
Yeraltı kaynakları	
*Jeotermal enerji	Isı üretimi, tarım, turizm, sağlık, sanayi-CO <sub>2</sub> üretimi
Hammadde (atıklar) kaynakları	
*Biyokütle enerjisi	Elektrik üretimi, biyogaz, etanol, hidrojen, metan, metanol ve motorin yakıt üretimi
Yeryüzü su (yüzey suları) kaynakları	
*Hidrolik enerji	Isı ve elektrik üretimi

Güneş enerjisi: Güneş çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisi, ısı ve elektrik üretiminde kullanılmakta olup, birçok araştırma yapılmakta ve gelişen teknolojilerle kullanımı da gittikçe artmaktadır. Güneşten yayılan  $3,9 \times 10^{26}$  W lık bu enerjinin çok az bir miktarı yeryüzüne kadar ulaşır ve atmosferin dış yüzeyindeki her metrekareye ortalama 1.367 W güç düşer [13]. Atmosfere gelen ve genellikle X ışınlarından ve ultraviyole ışıklardan oluşan bu ışınların bir kısmı soğrulurken, bir kısmı yansımaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi için genel olarak güneşten gelen ışığın doğrudan elektrığe çevrildiği fotovoltaik sistemler dikkat çekmektedirler. Ancak elde edilen sıcaklık değerlerine göre düşük sıcaklık uygulamaları ve yoğunlaştırıcı ısı sistemleri de ısı güneş enerjisi teknolojileri olarak kullanılmaktadırlar. Güneş enerjisinden düşük sıcaklık elde edilmesine yönelik düşük sıcaklık uygulamaları, düzlemsel ve vakumlu güneş kolektörleri, güneş havuzları, güneş bacaları, su arıtma sistemleri, güneş mimarisi, ürün kurutma ve sera ısıtma sistemleri ve güneş enerjisi ile pişirme için kullanılmaktadır. Bu sistemler düzlemsel güneş kolektörleri yüzeyine gelen güneş enerjisinin su, hava veya herhangi bir akışkana iletilmesi prensibine göre çalışırlar ve en çok evlerde su ısıtma (70°C) amacıyla kullanılırlar. Yoğunlaştırıcı ısı sistemleri ise parabolik aynalar, çanaklar veya heliostatlar kullanılarak, özellikle 10 MW ve üzerinde elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanılırlar. Sivas'ta ısı sistemleri ile üretim yapılmaktadır. Bunun nedeni gün içerisinde, coğrafik, topoğrafik ve meteorolojik özellikleri nedeniyle güneşin uzun süre devam etmesidir.

Şekil 3'te Türkiye yıllık güneş enerjisi potansiyeli haritasında, Sivas'ın yaklaşık kuzeyden güneye doğru bir artışla, 1550-1800 KWh/m<sup>2</sup>-yıl aralıklarında değişim gösteren enerji potansiyeli olduğu gözlenmektedir [4, 14].

yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin olduğu Tablo 3'te de sunulduğu üzere çok çeşitlidir. Dolayısıyla Sivas'ta da üretilen veya yakın zamanda üretiminin başlayacağı bu enerjiler ayrıntılı incelenirse, kaynağı, üretilen enerji türü ve kullanım amaçları ile önemi daha da iyi anlaşılır. Buna göre Sivas'taki bu yenilenebilir enerji kaynaklarının genel özelliklerinin ayrıntıları aşağıda sunulmaktadır.

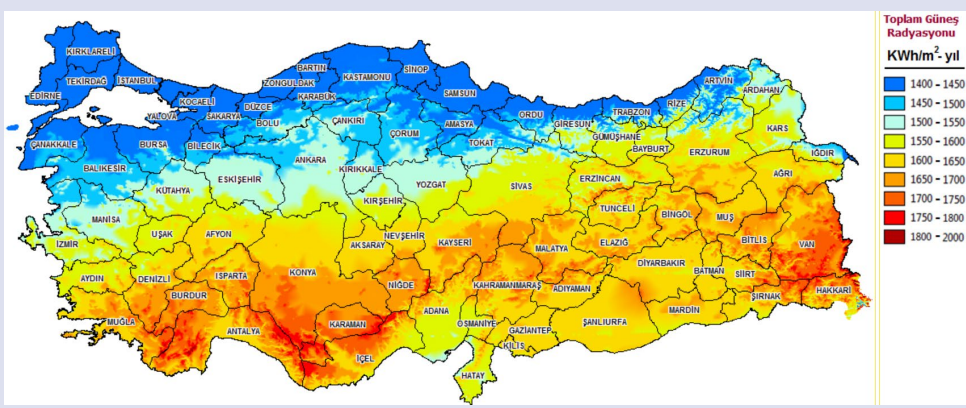
Görüldüğü üzere, Sivas Türkiye'nin en iyi güneş alan illerinden biridir. Ayrıca, il sınırlarının kapsadığı alan genişliği ve havza konumunda bir jeolojik özelliğe sahip olması nedeniyle, güneş santrali kurmaya uygun düz topoğrafik özellikler (plato gibi) de barındıran ve alansal olarak santral kurulabilecek alan potansiyeli de fazla olan bir il özelliği taşıdığı gözlenmektedir. Bu nedenle bu özellikler GES kurulması için yeterli ve teşvik edici önemli sebeplerdendir. Bu yüzden Sivas için önemi anlaşıldığından, planlanan yeni yatırımlar listesinde de yer aldığı gözlenmektedir.

**Rüzgar enerjisi:** Rüzgar, güneş kaynaklı radyasyonun yerin yüzeyini, yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak zamansal ve yöresel değişiklik göstererek farklı ısıtması nedeniyle ve Şekil 3'te güneş enerjisi potansiyeli yüksek miktarda gözlenirse de havanın değişen sıcaklık, nem ve basınç farklarına göre hava hareket ederek, günlük toplam güneş enerjisinin yaklaşık %2'lik miktarı, rüzgar enerjisine dönüşebilmektedir [4]. Diğer yandan rüzgar hızı yükseklikle artar ve teorik gücü rüzgar hızının küpü ile orantılı olarak değişir (Şekil 4). Rüzgâr enerjisi kaynaklı RES ile elektrik üretim uygulamalarının ilk yatırım maliyetlerinin yüksek, kapasite faktörlerinin düşük olması ve değişken enerji üretimi gibi olumsuz yönleri olsa da yenilenebilir ve temiz enerji kaynağı olarak üstünlükleri daha fazladır. Bu da RES santrallerinin yaygınlaşmasını ve sayılarının artmasını sağlamıştır.

Günümüzde rüzgar enerji sistemleri (RES) teknolojileri gelişimleri artarken, üretilen enerji miktarı da artmaya devam etmektedir. Şekil 4'de görüldüğü üzere, Türkiye yıllık rüzgar enerjisi potansiyeli haritasında, Sivas'ın ülke genelindeki duruma göre karşılaştırılması yapılırsa, Sivas'ın ortalamanın üzerinde bir rüzgar enerji kaynağına sahip olduğu görülebilir. İl sınırları içerisinde, ortadan

batıya doğru olan alanlar hariç, her tarafta rüzgar seviyesinin ortalama olarak iyi bir dağılım gösterdiği ve hatlar oluşturduğu gözlenebilmektedir [15, 16]. Bu hatlar, kuzeyde kuzeybatı-güneydoğu yönünde, güneye doğru ise güneybatı-kuzey doğu yönde iki önemli hat olarak gözlenmektedir. Özellikle bu hatlar boyunca, göç yoğunluğu ortalama 600 Wh/m<sup>2</sup>-yıl olan bir enerji

potansiyeli sunmaktadır [15]. Benzer şekilde bu hatlar boyunca rüzgar hızının ise en yüksek hız aralığının 5-8 m/s arasında değişen yüksek hızlara ulaştığı gözlenmektedir. Bu sonuçlara göre, denizden yüksekliği 1250 m'den daha fazla olan Sivas, rüzgar enerji kaynağı açısından yüksek bir potansiyele sahiptir.



Şekil 3. Türkiye yıllık güneş enerjisi potansiyeli haritasında, Sivas'ın yaklaşık kuzey-güney yönünde artışla, 1550-1800 KWh/m<sup>2</sup>-yıl aralıklarında değişim gösteren enerji potansiyeli [4, 14].

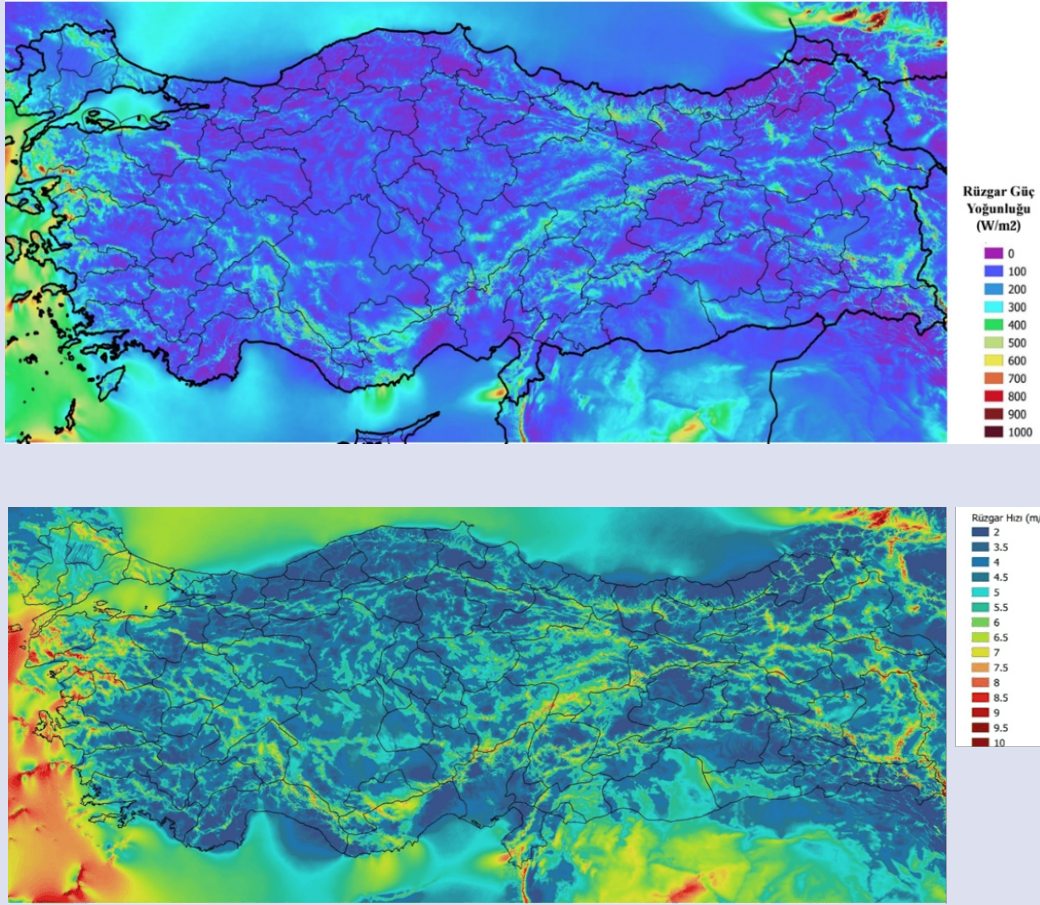
Figure 3. On the annual solar energy potential map of Turkey, the energy potential of Sivas varies between 1550-1800 KWh/m<sup>2</sup>-year, increasing approximately in the north-south direction [4, 14].

Türkiye'nin iyi rüzgar alan bir ili olarak Sivas il sınırlarının kapsadığı alan genişliği ve havza konumunda bir jeolojik özelliğe sahip olması, rüzgar santrali kurmaya uygun dağlık arazisi olan, engebeli topoğrafik özelliklere sahip, santral kurulabilecek alan yeri sayısı/potansiyeli fazla olan özellikleri ile rüzgar enerjisi ile elektrik ve ısı üretimi için uygun koşullar sunmaktadır. Dolayısıyla dağlık alanlarda sürekli değişen yükseklik farkları, rüzgar santrali kurmaya uygun alan sayısının iyi bir sayıda olduğunu da göstermektedir.

**Jeotermal enerji:** Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısı ve basıncın oluşturduğu sıcaklıkların, bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözülmüş mineraller, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su, buhar ve gazlar ile yüzeye taşınan ısı enerjisidir. Jeotermal kaynaktan çıkan buhar ve sıcak su iki farklı kaynak olarak değerlendirilmektedir. Jeotermal enerji, jeotermal sahalarda açılan kuyularda buhar ve su olarak ayrıştırıldıktan sonra çeşitli teknolojilerle JES'nde, elektrik enerjisi üretiminde ve ısı üretiminde de

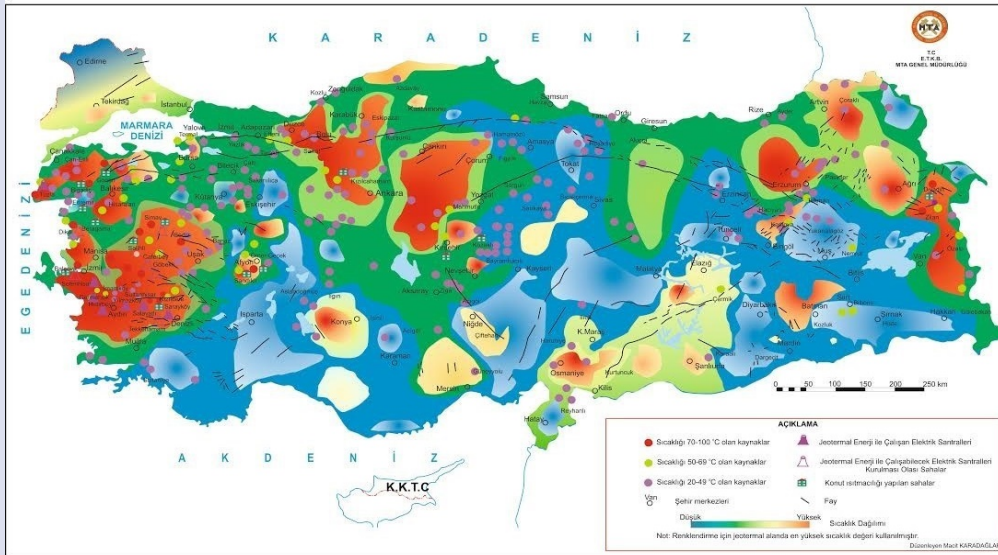
kullanılmaktadır. Düşük sıcaklık, basınç ve debideki jeotermal kaynaklar ise sera, organik tarım, ürün kurutma, yerel/bölgesel ısı ihtiyaçlarının karşılanmasında tercih edilmektedir. Termal turizm ve sağlık amaçlı kullanımı ise en yaygın olanlardır. İnsan sağlığına yararlı mineraller içerebilen düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynak suları, sağlık amaçlı tedavilerde sıklıkla tercih edilmektedir. Sivas'ta bu kullanımların her biri mevcuttur. Jeotermal kaynak, turizm ve sağlık amaçlı yıllardır kullanımı olsa da eklenen yeni tesislerle kapsamı kullanılabilirliği ve kullanım türleri geliştirilmiş ve genişletilmiştir. Günümüzde tarımsal alanda da önemli bir seracılık vb. alanlarda kullanımları da vardır. Şekil 5'te Türkiye jeotermal enerji kaynakları haritasında Sivas 20-49 OC arası sıcaklık grubundaki bölge içinde gösterilmektedir [17, 18]. Ancak Sivas'ın Sıcakçermik bölgesinde bu değer ortalama 45-49 OC sıcaklık aralığında olan bir jeotermal kaynaktır. Bu kaynak, sağlık, turizm, ısı enerjisi ve tarım yapmak amacıyla kullanılmaktadır.





Şekil 4. Türkiye rüzgar haritalarında sırasıyla Sivas'ın ortalama rüzgar enerji potansiyelinin ve hızının görünümü[15, 16]

Figure 4. View of the average wind energy potential and speed of Sivas on Turkey wind maps, respectively[15, 16]



Şekil 5. Türkiye jeotermal enerji kaynakları haritasında Sivas ilinde bulunan jeotermal kaynak (20-49 0C arası sıcaklık grubunda) işletmeleri bölgesi [17, 18].

Figure 5. Geothermal resource operations region (in the temperature group between 20-49 0C) located in Sivas province on the geothermal energy resources map of Turkey [17, 18].

**Biyokütle enerjisi:** 5346 sayılı Kanun'a göre ise biyokütle; ithal edilmemek kaydıyla, belediye atıklarının (çöp gazı dâhil) yanı sıra bitkisel yağ atıkları, gıda ve yem değeri olmayan tarımsal atıkları, endüstriyel odun dışındaki orman ürünleri ile atık lastiklerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynakları ve sanayi atık çamurları ile arıtma çamurları olarak tanımlanır. Biyokütle hammaddeleri çeşitli işlemlerden geçirilerek, katı, sıvı ve gaz yakıtlar üretilmektedir. Bunlar organik maddelerden çeşitli yollarla elde edilen biyokütle enerjisiyle biyogaz, etanol, hidrojen, metan, metanol ve motorin gibi yakıtlar olup, biyokütle yakıtların çeşitli tekniklerle işlenmesi ile ısı ve elektrik üretimi de yapılabilmektedir. Kısacası temel bileşenleri karbonhidrat bileşikleri (C, H, O) olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler biyokütle enerji kaynağı olabilir ve bu kaynaklardan üretilen enerjiye ise biyokütle enerjisi denir. Başlıca biyokütle kaynakları Sivas için aşağıdaki gibi listelenebilir.

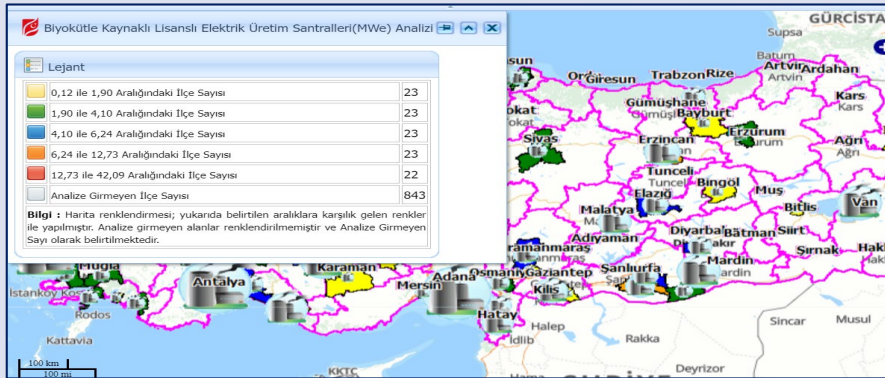
1) Tarımsal biyokütle kaynakları olarak yağlı tohumlu bitkiler (kanola, ayçiçeği), nişasta bitkileri (patates, buğday), elyaf bitkileri (keten, kenevir) ve bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk)

2) Orman ve orman ürünlerinden elde edilen biyokütle kaynakları olarak sınırlı miktarda da olsa orman ve ormancılık endüstrisi atık ve artıkları.

3) Hayvansal biyokütle kaynakları olarak büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarının dışkıları, mezbaha atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar.

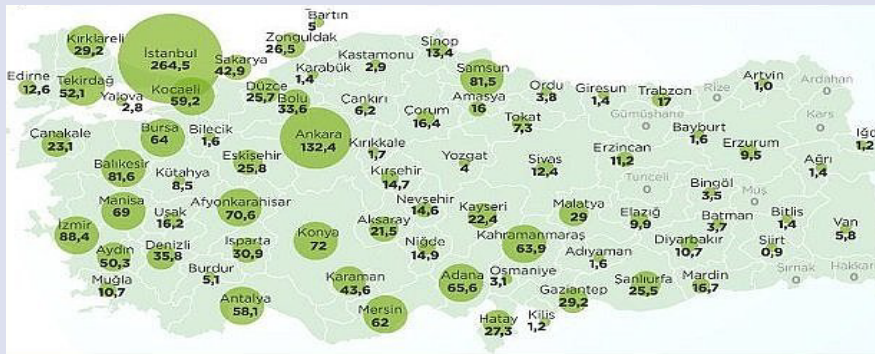
4) Kentsel ve endüstriyel atıklardan elde edilen biyokütle kaynakları olarak, biyolojik kökenli endüstri atıkları, belediye atıkları, arıtma çamurları.

Bu kaynaklar, Sivas'ın toprak yapısı, coğrafi-topoğrafik ve iklimsel koşullarına göre üretilen tarım ve hayvancılık ve çeşitli sanayiler kaynaklı atıklarla oluşturulan kaynaklardır (Şekil 6). Şekil 6 incelenirse, bitkisel atık (720.000,00-1.159.000,00 aralığında), belediye atıkları (145.000,00-233.000,00 aralığında), orman atıkları (29.200,00-40.400,00 aralığında) sayesinde yıllık ton miktarına bağlı olarak, 1,9-4,10 aralığındaki ilçe sayısı oranına göre, kurulmuş işletmelerde bu atıklardan yakıt türleri üretilmektedir [4, 19, 20]. Şekil 7'de ise üretilen yakıtların işlenmesiyle üretilen ısı ve elektrik enerjisinin bulunduğu yere göre elektrik üretim miktarları verilmektedir. Sivas'ta yıllık elektrik üretimi 2022 yılı itibarıyla 12,4 MW olduğu görülebilir (Şekil 7).



Şekil 6. Sivas merkez ve merkeze yakın ilçeleri kapsayan alandaki işletmelerin görünümü (yeşil renkli alanlar) [19].

Figure 6. View of the enterprises in the area covering Sivas center and districts close to the center (green areas) [19].



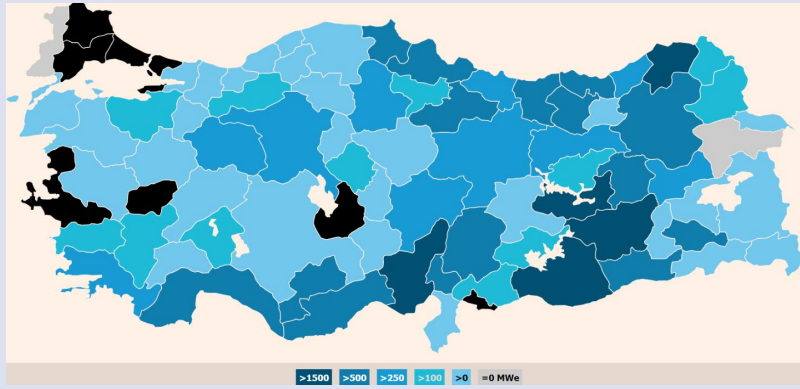
Şekil 7. Türkiye biyokütle elektrik santrallerindeki üretim miktarları (12,4 MW'lık elektrik üretim) [20].

Figure 7. Production amounts in Turkish biomass power plants (12.4 MW electricity production) [20].



**Hidrolik enerjisi:** Çeşitli enerji kaynakları içerisinde hidroelektrik enerji santralleri çevre dostu olmaları ve düşük potansiyel risk taşımaları sebebiyle tercih edilirler. Hidroelektrik santraller; çevreye uyumlu, temiz, yenilenebilir, yüksek verimli, yakıt gideri olmayan, uzun ömürlü, işletme gideri çok düşük dışa bağımlı olmayan yerli bir kaynaktır. Hidroelektrik enerji santralleri (HES), suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile elektrik enerjisinin üretildiği elektrik santrali türüdür. Bu amaçla hidrolik enerjiden yararlanabilmek için su toplama yerleri oluşturulur (baraj,

akarsu, nehir, şelale, vb.) ve su biriktirilerek, bu suyun hareket enerjisi sayesinde türbinden geçen su kinetik enerjiye dönüşür ve elektrik enerjisi üretilir. Sivas'ta elektrik üretmek için çoğunluğu Suşehri ve Gemerek'te olmak üzere birden çok ve Koyulhisar, İmranlı, Şarkışla ve Divriği ilçelerinde ise en az bir HES bulunmaktadır (Şekil 8). Şekil 8'de görüldüğü üzere Sivas'ın potansiyeli >500 MWe'nin üzerinde dağılım gösteren grupta sunulmaktadır [21].



Şekil 8. Türkiye'nin illere göre HES dağılımı haritası [21].

Figure 8. Turkey's hydroelectric power plant distribution map by province [21].

Sonuç olarak, Sivas'ta üretilen veya yakın zamanda üretimine başlanacak diğer enerji kaynakları, gelecekte büyük ölçüde yenilenebilir enerji kaynakları olacaktır. Sivas'ta özellikle Kangal termik santrali, elektrik üretiminde bölgede önemli bir yere sahip olsa da yenilenemez bir enerji kaynağı türüdür. Bu nedenle gelecekte bu kaynak biteceği için tesisin kullanımdan kaldırılması da olasıdır. Dolayısıyla yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli, geleceğin enerji kaynağı olarak işletme sayısının da artmasıyla birlikte Sivas ve yakın çevresi dahil, ülke genelinde de önemli bir ihtiyacı karşılayabilir ve üretim miktarı ve kullanım amaçları artabileceğinden önemi de artabilir. Bunun yanı sıra yeni tarım vb. politikaların hayata geçirilmesi ile biyokütle enerjisi oluşturan alanların, biyokütle enerji kaynakları da artırılabilir. Dolayısıyla biyokütle potansiyeli, bitki ile çevre arasındaki enerji akışı devam ettikçe var olacaktır. Ayrıca, havalandırma-iklimlendirme sistemleri de önemli gelişmeler gösteren yenilenebilir enerjilerden olacaktır. Sivas'ta yenilenebilir enerji ile olan üretimi arttırmak sadece ilin ihtiyacını karşılamakla kalmayacağı, zamanla yakın çevresindeki illere de katkı sağlayabileceği düşünüldüğünde, Sivas'ın enerji potansiyeli çerçevesinde geleceğe yönelik stratejiler geliştirmek önemlidir. Türkiye'nin enerji stratejisinin uluslararası boyutunu

oluşturan temel unsurlardan bazıları aşağıda sunulmuştur [22]:

- Artan talep ve dışa bağımlılığı dikkate alarak, petrol ve doğal gazın tedarikinde güzergâh ve kaynak çeşitlendirmesini sağlamak,
- Bölgesel ve küresel enerji güvenliğine katkıda bulunmak,
- Enerjide bölgesel ticaret merkezi olmak,
- Enerji zincirinin her aşamasında sürdürülebilir kalkınma bağlamında sosyal ve çevresel etkileri dikkate almak,
- Yerli ve yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payını artırmak,
- Nükleer enerji sepetimize dâhil etmek.

Bunlara göre, Sivas'ta yenilenebilir enerji ile ilgili gelişmeler ve çeşitlilik arttıkça, ulusal ve uluslararası boyutta stratejileri de hazır olmalıdır. Sivas'taki üretilen enerjinin fazla olması durumunda çevre illere de faydalı olacağı düşünülerek, artan yatırımlarla hem enerji miktarı hem de birçok konuda ülkeye katkı sağlayan bir il olabilir. Uluslararası katkı, enerji satışı ile ilgili olmayabilir. Ama enerji üretim türleri, kullanım çeşitliliği, hammadde çeşitleri ve teknolojileri ile ilgili olabilir. Bu konularda oluşacak gelişmelerde, öncü ilkler ortaya konulursa, uluslararası ilgiyi üzerine toplayabilir. Böylece, uluslararası platformlarda, ülkeye ekonomik, tanıtım, turizm vb.



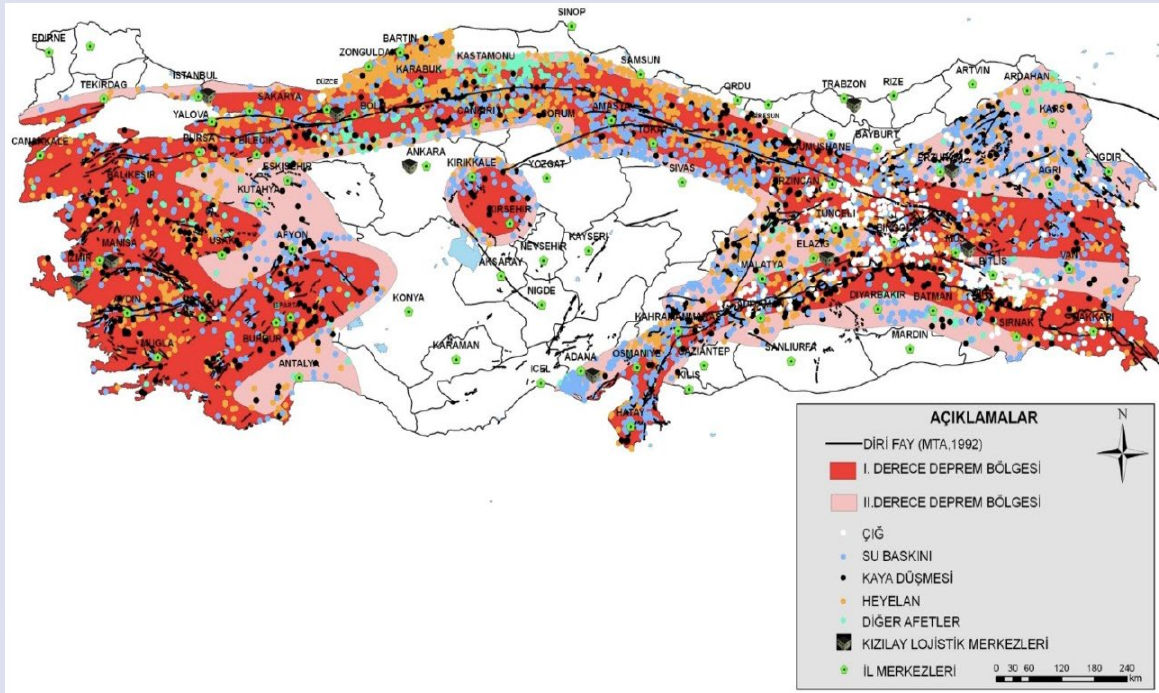
konularında değerler katabilir. Bu konularda Türkiye Enerji Stratejileri ve Politikaları Araştırma Merkezi'nin (TESPAM) ve Sabancı Üniversitesi İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi'nin (IICEC), ulusal-uluslararası çalışmaları ve hedefleri bulunmaktadır [23, 24]. Bu kuruluşlar, Sivas için örnek olarak alınıp, yerelde Sivas için stratejiler geliştirilebilir. TESPAM bünyesindeki disiplinler arası çalışma grupları ve araştırma koordinatörlükleriyle, BM'nin (Birleşmiş Milletler) sürdürülebilir gelişim hedeflerine katkı koyan, koordine ettiği işbirliklerle, teknolojik girişimciliği, yeni fikirleri ve çok uluslu işbirliklerini destekleyen bir kuruluştur. Özellikle TESPAM'ın kapsamındaki bazı başlıklar incelenirse,

- İş geliştirme ile uluslararası ticaretin geliştirilmesi,
- Green ile yeşil dönüşümün ve verimliliğe katkı sağlayacak uygulamaların koordine edilmesi,
- Teknoloji ile iş güvenliği ve akıllı otomasyon sistemlerinin yaygınlaştırılması,
- Akademi ile eğitim imkânlarının geliştirilmesi,
- Piyasalar ile fiyat dinamiklerinin daha anlaşılır bir şekilde okunmasının sağlanarak, değer zincirlerinde oluşabilecek risklerin bertaraf edilmesi,
- World Energy Base ile bütün uluslararası kamuoyuna daha bütünlük bir farkındalık ortamı oluşturulması,

amacıyla yapılan faaliyetleri ve benzer şekilde, IICEC'nin hedefleri de yol gösterici olacaktır. IICEC enerji önceliklerinde enerji politikalarına göre, temiz enerji arzının ve verimliliğinin artırılması, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, gelişen dünyanın enerji ihtiyacının sürdürülebilir koşullarda karşılanması, yenilenebilir enerji ve diğer ilgili konular hakkında güncel bilgi ve analizlerin sağlanması, güvenli, sürdürülebilir ve verimli elektrik piyasalarının gelişimi için strateji ve politika önerileri geliştirilmesi, yenilikçi enerji teknolojileri geliştirilmesi, enerji tüketicilerinin ihtiyaç ve davranışlarındaki değişimlerin belirlenmesi ve bu değişimlerin enerji piyasalarını ve enerji politikası hedeflerine ulaşmayı nasıl etkilediklerinin araştırılması gibi bazı hedefleri, Sivas'ın yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilişkilendirilerek çalışmalar ve planlamalar yapılması faydalı olacaktır. Böylece, Sivas'ın potansiyel enerji kaynakları ile uyumlu olabilecek kullanışlı bir ulusal-uluslararası strateji planı hazırlanabilir ve kullanılabilir. Yapılacak değerlendirmelere göre il ve yakın bölgelerle sınırlı kalıp kalınamayacağı da araştırılarak, strateji hazırlamak daha iyi gelişmelere yol açabilir.

Türkiye'nin çeşitli kurumları tarafından hazırlanan Türkiye'deki çeşitli doğa olaylarına yönelik hazırlanmış haritalar, HGK-Harita Genel Komutanlığı haritaları, MTA-Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü haritaları, üniversitelerde (harita-jeoloji-jeofizik-maden-meteoroloji mühendisliği bölümleri) bilimsel çalışmalarla üretilmiş haritalar, teknolojiler vb. sonuçlar, B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve AFAD tarafından hazırlanan afet, risk, tektonik, jeoloji, sismotektonik ve diğer haritaları da

incelenerek il ve ülke genelinde stratejiler ve planlamalar hazırlanmalıdır. Örneğin Şekil 9 incelenirse, **sarı renk, depremlerden, kırmızı renk, heyelanlardan, mavi renk, su baskınlarından (sel, taşkın vb.) mor renk, kaya düşmelerinden, yeşil renk, diğer afetlerden** (kirlilik, yangın, obruklar, mağara çökmesi vb. olaylar) ve beyaz renk ise çığ afetlerinden etkilenen yerleşim birimlerini göstermektedir [25]. Bunlara bağlı olarak ve ilişkili olarak Karadeniz, İç Anadolu doğusu, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu batısı ve Doğu Akdeniz bölgeleri en çok afet görülen bölgeler olarak gözlenmektedir. Bunun temel nedeni, heyelan, su baskını ve kaya düşmesi olaylarının çoğunlukla Karadeniz ve Doğu Toros bölgelerinde olduğundan, coğrafik, jeolojik, meteorolojik ve toprak yapısı özellikleri nedeniyle olduğu yorumlanabilir. Bu nedenle enerji kaynakları için tesis ve işletme hazırlıkları yapılırken, bu olaylar göz ardı edilmeden yatırımlar yapılmasına her zaman dikkat edilmesi önemli ve yararlı olacaktır. Çünkü santrallerin yer seçiminde olduğu gibi işletilmesi süreci boyunca da afetlere karşı korumada ve afetler sonrası oluşacak çevresel sorunlarda veya işletme süresi boyunca ortaya çıkabilecek çevresel sorunlar için santral kurulumu hazırlık çalışmalarında, bu konulara gereken özen ve önemin verilmesi her zaman önemli olmalıdır. Böylece, hem ülke hem de işletme için ekonomik kayıpların azaltılması, önlenmesi, enerji güvenliği sorunları oluşmaması ile yatırımların yapılmasında teşvik edici bir rol ortaya çıkması da sağlanabilir. Ayrıca, Ar-Ge çalışmaları için ekonomik kayıplar önlenmiş olurken, insanlar ve diğer canlılar için yaşamlar korunur, yaşamsal çevre ve yaşamları için gerekli enerji kaynaklarının daha iyi değerlendirilerek kullanılması da sağlanabilir. Günümüzde özellikle çevre korumada, yatırım sürecinde yenilenebilir enerji kaynakları ve çevre ilişkisi de önemli konulardandır. Çünkü çevreyi korunmadan yatırım yapmak o kaynaktan yeterli bir üretim sağlamayacağı gibi ülkenin değerlerinin korunması için çevreye de zarar vermemelidir. 1983 Çevre Kanunu'nda önemli bir konu ortaya atılmıştır [26]. TC Anayasası "Çevreyi ekonomik kalkınma hedeflerine olumsuz etki yapmaması koşuluyla hesaba katsa da, Anayasaya göre herkesin temiz ve sağlıklı bir çevrede yaşama hakkı vardır" ilkesi ÇED (Çevresel Etki Değerlendirme) çalışmalarına altyapı oluşturmaktadır. Altıncı, Yedinci, Sekizinci Kalkınma Planlarımızda ise Sürdürülebilir Kalkınma Kavramı da yer almıştır. Kıyı Kanunu, Turizmi Teşvik Kanunu, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu gibi kanunlarda çevresel konulara ilişkin mevzuatta önemli yer tutmaktadır. 1993 yılında Çevre Kanununun 10. Maddesi uyarınca ÇED Yönetmeliği çıkarılmış ve şu an yürürlükte olan yönetmelik 16.12.2003 tarih ve 25318 sayılı resmi gazetede yayımlanan yönetmeliktir. ÇED Yönetmeliği sayesinde ülkemizde mevzuatta yer alan hava ve su kirliliğinin önlenmesi, kıyılarımızın korunması, tarım alanlarının, meraların korunması gibi çevre ile ilgili pek çok yönetmelik etkin şekilde kullanılabilir. Buna göre ÇED Raporu, aşağıda genel olarak ifade edilen bölümleri kapsamaktadır.



Şekil 9. Türkiye'nin afet türleri haritası [25].

Figure 9. Turkey's disaster types map [25].

- Karasal ve denizel alanlar için flora-fauna bilgileri
- Risk analizleri, modellemeler
- Zemin etüd çalışmaları, bölgenin depremselliği, jeolojik, hidrojeolojik, jeomorfolojik özellikleri,
- Mevcut Kirlilik yükünün belirlenmesi
- Sosyoekonomik özelliklerin belirlenmesi
- Atık yönetimi ve bertarafı

Dolayısıyla ÇED'in etkin kullanımı, "sürdürülebilir kalkınma"nın sağlanmasının, yani doğadaki tüm değerlerin gelecek kuşaklara kalmasının en etkin ve sağlıklı yoludur. Doğal kaynakların hızla tüketilmesi, hava, su ve toprağın her geçen gün artan oranlarda kirlenmesi, önemli bir kısmının kullanılamaz hale gelmesi, özellikle büyükşehir ve sanayi bölgelerinin çevre kirliliği sebebiyle yaşanamaz hale gelmesi sorunları aslında önlenbilir, azaltılabilir ve çözümleri geliştirilebilir. ÇED raporu hazırlanarak, çevreyi doğrudan ya da dolaylı olarak, olumlu ya da olumsuz yönde etkileyen bir faaliyetin etkilerinin, bu faaliyetle ilgili yatırımlara başlamadan önce, henüz karar verme aşamasında iken irdelenmesi ve bu faaliyetin yaratabileceği olumsuz etkilerin önlenmesi ya da çevreye zarar vermeyecek ölçüde en aza indirilmesi için alternatif çözümlerin belirlenmesi sağlanabilir. ÇED'in tek başına yeterli olmayacağı durumlarda stratejik ÇED (SÇED), Çevre Yönetimi'yle birlikte bütüncül bir yaklaşımla ve akılcı bir biçimde kullanılan, kısaca çevre yönetimi kapsamlı bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Böylece ekonomik ve sosyal gelişmeleri önlemeden, çevre değerlerini, ekonomik politikalar karşısında korumak mümkündür. Bu şekilde yenilenebilir çeşitli türdeki enerji

kaynakları üretilmesi daha kolay ve faydalı olarak yapılabilir ve yaşamsal bir ihtiyaç olan enerji ihtiyacı başarılı bir şekilde karşılanabilir. Böylece çevresel sorunlar ve bunların etkilerinin, enerji kaynaklarını olumsuz yönde etkilememesi de önceden sağlanmış olacaktır.

### Sonuçlar

Bu makalenin amacı doğrultusunda yapılan araştırmalardan ve incelemelerden sonra Sivas için yenilenebilir enerji kaynakları açısından önemli sonuçlar edilebilmiştir. Araştırma ve incelemelerin sonuçları, hazırlanan tablolarla birlikte yorumlanmıştır. Buna göre, üretim açısından Sivas'ın yenilenebilir enerji potansiyeli yüksektir ve enerji kaynakları da çeşitlilik içermektedir. Bunlarda en önemli sebeplerin, havza özelliği nedeniyle jeolojisinin yanı sıra coğrafik, topoğrafik ve meteorolojik özelliklerinin zenginliğinin etkili olması olarak belirlenmiştir. Denizden yüksekliğinin 1250 m'den fazla olması, ova, plato, dağ ve ırmak zenginliğinin de önemli avantajları olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle özellikle elektrik üretiminde HES, RES ve GES santralleriyle önemli bir enerji üretimine ulaşıldığı belirlenmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla diğer santrallerle de çeşitli üretimlerin yapıldığı çeşitliliğin de arttığı belirlenmiştir. Bunlar başta JES (Jeotermal Enerji Santrali) kaynaklı turizm, sağlık, tarım ve CO2 ile ilgili üretimler olup, biyokütle kaynaklı olarak ise yakıt ve diğer enerjilerin üretiminin de yapıldığı gözlenmiştir. Sonuç olarak Sivas'ın enerji kaynak ihtiyacında, yenilenebilir enerjilerin önemli yeri olduğu ve

mevcut santrallere yeni santral eklenmesi ile ilgili yatırımların da devam ettiği gözlenmiştir. Böylece, gelecekte Sivas'ın yenilenebilir ve temiz enerji ile enerji ihtiyacının karşılanabileceği düşünülmektedir. Bu sayede, Sivas'ın özellikle hava, su ve toprak kirliliğinin azalması da sağlanabilir ve kirlilik artışı önlenir. Ayrıca fazla üretim olması durumuna da hazırlık yapılması ve yeni ulusal-uluslararası stratejilerinin olması gerektiği ifade edilmiştir.

## Kaynaklar

- [1] URL 1. <https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari>
- [2].URL 2. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikvillik-sektor-raporu>
- [3] Durukan A., Yılmaz, M., 2021. Yenilenebilir enerjinin önemi ve Latin Amerika coğrafyasındaki yeri: Brezilya örneği. DTCF Dergisi 61.1, 339-358. DOI: 10.33171/dtcfjournal.2021.61.1.13
- [4] <https://enerji.gov.tr>
- [5] Emeksiz, C., Fındık, M.M., 2021. Sürdürülebilir Kalkınma İçin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Ölçeğinde Değerlendirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi (EJOSAT) Özel Sayı 26, S. 155-164. DOI: 10.31590/ejosat.948729
- [6] Türkoğlu Elitaş, M.N., 2016. Türkiye'de biyokütle enerji kaynaklarının araştırılması ve OECD ülkeleri ile karşılaştırılması. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- [7] Korkmaz Başel, E.D., Serpen, Ü., Satman, A., 2014. Geothermal boom in Turkey: Growth in identified capacities and potentials. Renewable Energy 68, 314-325. DOI: 10.1016/j.renene.2014.01.044
- [8] Korkmaz Başel, E.D., Serpen, Ü., Satman, A., 2019. Türkiye jeotermal kaynak potansiyeli. TMMOB Makine Mühendisleri Odası TEKSON2019, 14. Tesisat Mühendisliği Kongresi Jeotermal Enerji Semineri Bildiriler Kitabı, MMO Yayın No: E/MMO/702-2, 21-28.
- [9] Arslan, S., Darıcı, M., Karahan, Ç., 2019. Türkiye jeotermal kaynak potansiyeli. TMMOB Makine Mühendisleri Odası TEKSON2019, 14. Tesisat Mühendisliği Kongresi Jeotermal Enerji Semineri Bildiriler Kitabı, MMO Yayın No: E/MMO/702-2, 21-28.
- [10] Özşahin, E., Kaymaz, Ç.K., 2013. Türkiye'nin termal su kaynaklarının coğrafi açıdan değerlendirilmesi. Atatürk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi (Journal of Social Sciences) 50, 25-38.
- [11] Zaim, A., Çavşı, H. 2018. Türkiye'deki jeotermal enerji santrallerinin durumu. Mühendis ve Makine, 59 (691) 45-58.
- [12] <https://www.enerjiatlas.com/sehir/sivas/>
- [13]<https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>
- [14] <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>
- [15]<https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar>
- [16] <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/iller/SIVAS-REPA.pdf>
- [17] <https://www.enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal>
- [18] <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>
- [19] <https://bepa.enerji.gov.tr/>
- [20] <https://www.enerjiekonomisi.com/il-il-turkiye-biyokutle-elektrik-uretim-haritasi/21417/>
- [21] <https://www.enerjiatlas.com/hes-haritasi/sivas>
- [22] [https://www.mfa.gov.tr/turkiye\\_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa](https://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa)
- [23] <https://www.tespam.org/tr/>
- [24] <https://iicec.sabanciuniv.edu/tr>
- [25] <https://www.afad.gov.tr/afet-haritalari>
- [26]<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=2872&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>