

Published By
Sivas Cumhuriyet University
<http://cumfad.cumhuriyet.edu.tr>

2(1):2024

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 2 | Issue / Sayı 1
Pages / Sayfa: 1-34**

Haziran/June 2024

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

Sivas Cumhuriyet University Journal of Engineering Faculty-CUJEF

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi-CUMFAD

II

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

Prof. Dr. Hülya DOĞAN
Assoc. Prof. Dr. Mustafa ŞEKER
Asst. Prof. Dr. Derya Betül ÜNSAL ÇELİMLİ

Eş Editörler

Prof. Dr. Hülya DOĞAN
Doç. Dr. Mustafa ŞEKER
Dr. Öğr. Üyesi Derya Betül ÜNSAL ÇELİMLİ

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. İlky 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

Prof. Dr. Hülya DOĞAN – 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

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, Murat Çıkan

1-1

Effects of Different Coating Layers on Some Surface Properties of Wax-Applied Plum (*Prunus domestica* L.) Wood

Balmumu Uygulanmış Erik (*Prunus domestica* L.) Odununda Bazı Yüzey Özellikleri Üzerine Farklı Kat Sayılarının Etkileri

Ümit Ayata¹, Hüseyin Peker², Elif Hümeysra Bilginer, Osman Çamlıbel, Levent Gürleyen

2-8

Investigation of the Effect of Lightning Surge Voltages on Photovoltaic Systems
Yıldırım Aşırı Gerilimlerinin Fotovoltaik Sistemler Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Şafak Kölemenöğlu, Mustafa Şeker

9-15

Determination of Electrical and Optical Parameters of Schottky Diode with Metal Complex Interlayer
Metal Kompleks Ara Katmanlı Schottky Diyotun Elektriksel ve Optik Parametrelerin Belirlenmesi

Fatma Zehra Bayat, , Mustafa Şeker, Hülya Doğan

16-24

Deep Learning based Image Recognition for Separation of Recycling Waste
Geri Dönüşüm Atıklarının Ayrıştırılması İçin Derin Öğrenme Tabanlı Görüntü Tanıma

Mehmet Bahadır Çetinkaya, Nihat Akdamar, Meriç Anıl Alkan, Hazal Bölükbaşı

25-28

Preparation of Forest Fire Risk Maps in Geographical Information Systems Environment
Orman Yangını Risk Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Ortamında Hazırlanması

İzzet Ersoy, Önder Gürsoy, Emre Ünsal

29-34

Editorial

VII

Dear Readers and 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 December 2024.

In this issue, there are 5 research and 1 erratum 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 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
June, 2024

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 Aralık 2024'de yayımlanacaktır.

Bu sayımızda sıkı bir kör hakemlik ve editörlük sürecinden geçmiş 5 araştırma ve 1 düzeltme 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 adresine e-posta ile gönderebilirler. Hakem sertifikası 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
Haziran, 2024



Journal of Engineering Faculty

cumfad.cumhuriyet.edu.tr

Founded: 2023

Available online, ISSN

Publisher: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Düzeltilme/Erratum

2023 yılı 2. Sayıda yayınlanan; “Design of Digital Differential Relay for Protection of Power Transformers Operating Under Highly Non-Linear Load” başlıklı makalede yapılan düzeltmeler aşağıdaki gibidir.

Düzeltilme Açıklaması:

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisinin 2023 yılı 2. Sayısında yer alan “H. Doğan, “Design of Digital Differential Relay for Protection of Power Transformers Operating Under Highly Non-Linear Load”, CUMFAD, c. 1, sy. 2, ss. 94–104, 2023.” referanslı makalede çalışmaya ilişkin ikinci yazar sehven yazılmamış ve bu durum sorumlu yazar tarafından bildirilmiştir. Yapılan bu hatadan dolayı yazarlar, okuyuculardan özür dilemektedir. Makalede yer alan hatanın giderilmesi amacıyla bu düzeltme metni sunulmuştur.

Bu Makalenin ilk hali 31.12.2023 tarihinde yayınlandı.

Makale URL: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cumfad/issue/82420/1410887>

Yayımlanmış Hali:

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.

Bildirilen Düzeltilmiş Hali:

Doğan H, Çıkan M (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.



Effects of Different Coating Layers on Some Surface Properties of Wax-Applied Plum (*Prunus domestica* L.) Wood

Ümit Ayata^{1,a,*}, Hüseyin Peker^{2,b}, Elif Hümevra Bilginer^{3,c}, Osman Çamlıbel^{4,d}, Levent Gürleyen^{5,e}

¹ Bayburt University, Faculty of Art and Design, Department of Interior Architecture and Environmental Design, Bayburt, Türkiye.

² Artvin Çoruh University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industry Engineering, Artvin, Türkiye,

³ Kırıkkale University, Kırıkkale Vocational School, Department of Design, Interior Design Pr., Kırıkkale, Turkey,

⁴ KTO Karatay University, Faculty of Fine Arts and Design, Department of Architecture, Konya, Türkiye,

⁵ Düzce Borsası İstanbul Vocational and Technical Anatolian High School, Düzce, Türkiye,

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 26/11/2023

Accepted: 02/02/2024

ABSTRACT

In this study, the effects of different coating layers (1, 2, and 3) on some surface properties (glossiness, color parameters, and whiteness index: WI^*) of wax-applied plum (*Prunus domestica* L.) wood were investigated. According to the results, the factor of the number of layers was found to be significant in all tests based on the analysis of variance. With an increase in the wax layer count, the L^* , h° , and WI^* values decreased in both directions. a^* , C^* , b^* , and the glossiness values at 60 and 85 degrees increased in both directions. ΔE^* values were determined as 9.16 for 1 layer of wax, 11.36 for 2 layers, and 11.14 for 3 layers. It's evident that wax causes a change in the surface properties of the wooden material, and additionally, as the ΔE^* values for the 2 and 3 layer applications are close to each other, it can be suggested that a 3-layer application might not be necessary.

Keywords: Glossiness, wax, color, whiteness index, plum, *Prunus domestica* L.

Balmumu Uygulanmış Erik (*Prunus domestica* L.) Odununda Bazı Yüzey Özellikleri Üzerine Farklı Kat Sayılarının Etkileri

ÖZ

Bu araştırmada, balmumu uygulanmış erik (*Prunus domestica* L.) odununda bazı yüzey özellikleri (parlaklık, renk parametreleri ve beyazlık indeksi: WI^*) üzerine farklı kat sayılarının (1, 2 ve 3) etkileri araştırılmıştır. Sonuçlara göre, varyans analizi testleri için kat sayısı faktörü açısından bütün testler anlamlı olarak tespit edilmiştir. Balmumu uygulamasına ait kat sayısının artmasıyla L^* , h° ve WI^* (her iki yönde) değerleri azalmıştır. a^* , C^* , b^* ile 60 ve 85 derecelerde yapılan her iki yöndeki parlaklık değerleri artış göstermiştir. ΔE^* değerleri 1 kat balmumu ile 9.16, 2 kat balmumu ile 11.36 ve 3 kat balmumu ile 11.14 olarak tespit edilmiştir. Balmumu ile ahşap malzemenin yüzey özelliklerinde değişikliğe sebep olduğu, buna ek olarak 2 ve 3 kat uygulamalarındaki ΔE^* değerlerinin birbirine yakın elde edilmesiyle 3 kat uygulamasının gerek olmadığı söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Parlaklık, balmumu, renk, beyazlık indeksi, erik, *Prunus domestica* L.

Copyright



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

^a umitayata@bayburt.edu.tr

^b peker100@artvin.edu.tr

^c elifbilginer46@gmail.com

¹ 0000-0002-6787-7822

² 0000-0002-7771-6993

³ 0009-0009-5455-4408

^d osmancamlibel@kku.edu.tr

^e leventgurleyen@hotmail.com

⁴ 0000-0002-8766-1316

⁵ 0000-0002-6867-8059

How to Cite: Ayata Ü, Peker H, Bilginer EH, Çamlıbel O, Gürleyen L (2024) Effects of Different Coating Layers on Some Surface Properties of Wax-Applied Plum (*Prunus domestica* L.) Wood, Journal of Engineering Faculty, 2(1): 2-8.

Giriş

Ahşap malzeme, inşaatlarda kullanılan en önemli malzemelerden biridir. Ahşap dış mekânda yer üstü uygulamalarda kullanıldığında, çeşitli farklı çevresel faktörler ana kimyasal bileşenlerini bozar. Çeşitli fiziko-kimyasal faktörlerin neden olduğu bu süreçler, hava koşulları olarak tanımlanmaktadır [1].

Bitkisel yağ-balmumu kaplamaları, genellikle ahşap binalarda, orman rekreasyon tesislerinde ve yüksek kaliteli mobilyalarda kullanılır. Bu kaplamalar, ahşabın belirgin dokusunu koruyarak ve bakımını kolaylaştırarak estetik bir yüzey sağlar [2].

Balmumu su itici olarak kullanmak, en çevre dostu, enerji tasarrufu sağlayan ve ticari ahşap hidrofobizasyon yaklaşımlarından biridir [3]. Genel olarak balmumu emülsiyonu, hidrofobik balmumunun, emülgatörlerin varlığında su içinde homojen bir şekilde dağıldığı bir dispersiyondur [4]. Mumlar ahşabın korunmasına yardımcı olan çevre dostu su iticilerdir [5].

Literatürde, farklı metotlarla (emprenye, vb.) mum bazlı kimyasallarının ahşap malzemeye olan uygulamaları üzerine çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [parafin mumu - kavak (*Populus tomentosa* Carr.) [4], arı balmumu - kayın, ıhlamur, kavak ve sarıçam [6], mum - Avrupa ceviz (*Juglans regia*) ve Avrupa akçaağacı (*Acer pseudoplatanus*) [7], parafin mumu ve karnuba mumu - Çin kavağı (*Populus cathayana* Rehd.) [8], mikro kristalin balmumu - Burma padauk (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) [9], polietilen balmumu ve arı balmumu - Mançu külü (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) ahşabı [10], arı balmumu - Avrupa ladini (*Picea abies*) [11]]. Ama literatürde balmumu uygulamasına sahip erik ahşabı üzerine bir çalışmanın yapılmadığı görülmektedir. Bu amaç ile bu çalışma düşünülmüştür. Bu ağaç türü hakkında bilgi vermek gerekirse;

Yerli erik (*Prunus domestica* L.) olarak da adlandırılan Avrupa eriği, dünya çapında ılıman ve karasal iklim bölgelerinde yetişen en önemli sert çekirdekli meyve türlerinden biridir. Bu türün 2000-4000 yıldır yetiştiriciliğinin yapıldığı düşünülmekte olup, bu muhtemelen *Prunus* cinsinin çeşitlilik merkezlerinden birinin Kafkasya ve Hazar Denizi bölgelerindeki konumu ve bu bölgede eski insan uygarlıklarının varlığı ile ilgilidir [12,13].

Erik, Akdeniz bölgesinden kuzeyden Sibirya bölgesine kadar farklı iklim koşullarında yetiştirilebilen, adaptasyonu oldukça kolay bir meyve türüdür [14,15]. Yaprak dökken bir ağaçtır [16]. Ağır killi topraklarda iyi yetişir. Toprakta bir miktar tebeşiri tercih eder ancak çok fazla mevcutsa klorotik hale gelme eğilimindedir [17]. 6 ila 6.5 arasında bir pH'ı tercih eder [18]. Erik, yenilebilir meyvesi için ılıman bölgelerde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Temmuz sonundan Kasım ayına veya Aralık ayına kadar taze meyve tedarik edebilen birçok adlandırılmış çeşit vardır [19].

Bahçe tasarımında, bir bitkinin yer üstü mimarisinin yanı sıra, kök yapısı hususları, besin ve su da dahil olmak üzere optimum toprak gereksinimleri için birlikte çalışan bitkilerin seçilmesine yardımcı olur. Kök deseni düzdür ve toprak yüzeyine yakın yayılan sığ kökler vardır. Kök deseni, bitkiden uzaktaki koşullardan yeni bitkileri emmektedir

[20]. Ayrıca, erikten yapılan ana işlenmiş ürünler arasında kompostolar, köpük, posa, şekerlenmiş meyve, dondurulmuş meyveler, reçeller, jöle ürünleri ve geleneksel alkollü içecekleri yer almaktadır [21].

Erik (*Prunus domestica* L.) odununda yoğunluk değeri 860.73 kg/m³, janka sertlik değerleri teğet yüzeyde 103.24 N/mm², radyal yüzeyde 103.28 N/mm², enine yüzeyde 124.31 N/mm² [22] ve ısı iletkenlik değeri 0.179 W/m.K [23] olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada, balmumu uygulanmış erik (*Prunus domestica* L.) odununda bazı yüzey özellikleri (beyazlık indeksi (*WI**), parlaklık ve renk) üzerine farklı kat (1, 2 ve 3) sayılarının etkileri araştırılmıştır.

Materyal ve Metot

Materyal

Ahşap Malzeme

Erik (*Prunus domestica* L.), ahşabı bu çalışmada kullanılmıştır. Deney malzemesi ticari bir işletmeden 100 x 200 x 20 mm olarak alınmıştır. Deney örnekleri rastgele seçilen, çatlaksız, düzgün liflere sahip, budaksız, ardaksız, renk ve yoğunluk farkı olmayan özellikte olunmasına dikkat edilmiştir. Daha sonra örnekler TS ISO 13061-1 [24] standardına göre hazır hale getirilmiştir.

Balmumu

Çalışmada, doğal ve sentetik balmumlarının karışımına sahip yağ (suda çözünürlük: dağılıbilir fakat çözünmez, renk: nötr, görünüm: macun, kuru artık: %30, koku: karakteristik ve pH değeri: 7.6) kullanılmıştır.

Metot

Balmumunun Ahşap Malzeme Yüzeylerine Uygulanması

Çalışmada, doğal ve sentetik balmumlarının karışımına sahip yağ ahşap malzeme yüzeylerine tek kat olarak fırça yardımıyla uygulanmıştır.

Renk Özelliklerinin Belirlenmesi

Numunelerin renk değişimi, ASTM D 2244-3, [25] standardına göre, CIELAB renk sistemi ile bir CS-10 (CHN Spec, Çin) (Şekil 1A) [CIE 10° standart gözlemci; CIE D65 ışık kaynağı, aydınlatma sistemi: 8/d (8°/dağınık aydınlatma)] cihazı ile belirlenmiştir. Aşağıdaki verilmiş olan formüller yardımıyla toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar hesaplanmıştır.

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

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

$$\Delta C * = (C * \text{ işlem görmüş deney örneği} - C * \text{ işlem görmemiş deney örneği}) \quad (3)$$

$$\Delta a * = (a * \text{ işlem görmüş deney örneği} - a * \text{ işlem görmemiş deney örneği}) \quad (4)$$

$$\Delta L * = (L * \text{ işlem görmüş deney örneği} - L * \text{ işlem görmemiş deney örneği}) \quad (5)$$

$$\Delta b * = (b * \text{ işlem görmüş deney örneği} - b * \text{ işlem görmemiş deney örneği}) \quad (6)$$

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

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

Literatürde, ΔC^* değeri, kroma kısmı veya doygunluk farkı ve ΔH^* değeri ise ton bölümü veya gölge farkı olarak tanımlanmıştır, ayrıca diğer parametrelere ait tanımlamalarda Tablo 1’de sunulmuştur [26].

Tablo 1. ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* değerlerine ait tanımlamalar [26]

Table 1. Definitions of ΔL^* , Δa^* , Δb^* , and ΔC^* values [26]

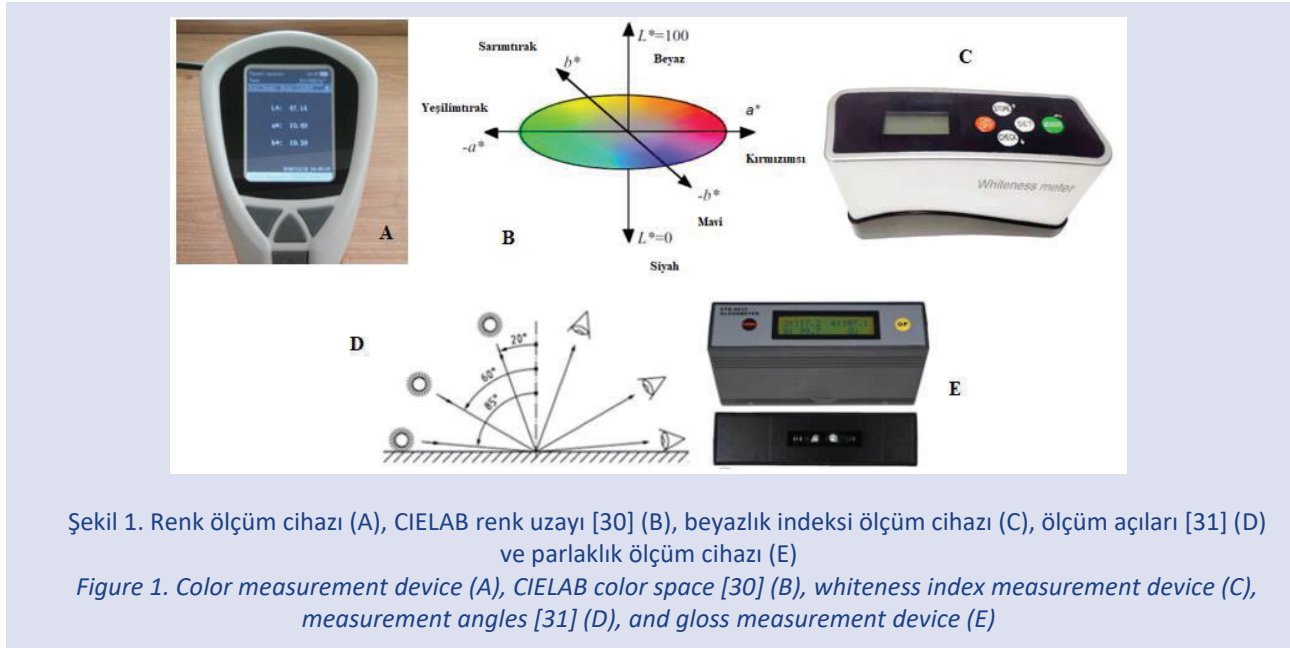
Parametre	Pozitif durumda	Negatif durumda
ΔL^*	Referanstan daha açık	Referanstan daha koyu
Δa^*	Referanstan daha kırmızı	Referanstan daha yeşil
Δb^*	Referanstan daha sarı	Referanstan daha mavi
ΔC^*	Referanstan daha net, daha parlak	Mat, referanstan daha bulanık

ΔE^* renk farkına ait görsel değerlendirmeleri için kıyaslama kriterleri [27] Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. ΔE^* değerlendirmesi için kıyaslama kriterleri [27]

Table 2. Comparison criteria for ΔE^* evaluation [27]

Toplam renk farkı (ΔE^*)	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. Renk ölçüm cihazı (A), CIELAB renk uzayı [30] (B), beyazlık indeksi ölçüm cihazı (C), ölçüm açıları [31] (D) ve parlaklık ölçüm cihazı (E)

Figure 1. Color measurement device (A), CIELAB color space [30] (B), whiteness index measurement device (C), measurement angles [31] (D), and gloss measurement device (E)

Beyazlık İndeksi (WI^*) Özelliklerinin Belirlenmesi

Beyazlık indeksi (WI^*) değerleri Whiteness Meter BDY-1 cihazının (Şekil 1C) kullanılması liflere paralel ve dik yönlerde belirlenmiştir [28].

Parlaklık Özelliklerinin Belirlenmesi

Parlaklık testleri ISO 2813 [29] standardının kullanılması ile ETB-0833 model gloss meter cihazında (Şekil 1E) üç farklı açıda (20°, 60° ve 85°) liflere dik ve paralel yönlerde olacak şekilde yapılmıştır.

İstatistiksel Analiz

Bir istatistik programı ve çalışmaya ait ölçüm değerlerinin kullanılması ile standart sapmaları, maksimum ve minimum ortalama değerleri, ortalamaya ait olan ölçüm değerleri,

homojenlik grupları, çok değişkenli varyans analizleri ve yüzde (%) değişim oranları hesaplanmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar Tablo 3’de sunulmuştur. Hesaplanmış olan ΔE^* değerleri incelendiğinde 1 kat balmumu ile 9.16, 2 kat balmumu ile 11.36 ve 3 kat balmumu ile 11.14 olarak elde edildiği görülmüştür. ΔL^* (referanstan daha koyu) değerleri negatif olarak elde edilirken, Δa^* (referanstan daha kırmızı), Δb^* (referanstan daha sarı) ve ΔC^* (referanstan daha net, daha parlak) değerleri pozitif olarak bulunmuştur (Tablo 3).

2 ve 3 kat balmumu uygulamalarının ΔL^* , Δa^* , ΔC^* ve ΔE^* değerleri birbirlerine çok yakın olarak bulunmuştur. Renk değiştirme kriterleri [27] ile bu çalışmada elde edilen sonuçlar

kıyaslandığında bütün balmumu uygulamaları ile “güçlü (6.0 ila 12.0)” kriterinin elde edildiği görülmüştür (Tablo 3).

Çok değişkenli varyans analizi sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, balmumu kat sayısı faktörü, bütün testler için anlamlı olarak elde edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 3. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar

Table 3. Results of total color differences

Uygulaması sonrası	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔE^*	Renk değiştirme kriterleri [27]
1 kat balmumu	-6.47	3.46	5.49	6.48	0.33	9.16	Güçlü (6.0 ila 12.0)
2 kat balmumu	-8.08	4.85	6.35	7.94	0.84	11.36	
3 kat balmumu	-8.42	4.75	5.53	7.21	1.09	11.14	

Tablo 4. Çok değişkenli varyans analizi sonuçları

Table 4. Results of multivariate analysis of variance

Varyans Kaynağı	Test	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
Kat Sayısı	Işıklılık (L^*)	461.352	3	153.784	447.830	0.000*
	Kırmızı (a^*) renk tonu	154.072	3	51.357	164.298	0.000*
	Sarı (b^*) renk tonu	256.204	3	85.401	501.331	0.000*
	Kroma (C^*)	400.798	3	133.599	385.510	0.000*
	Ton (h°) açısı	35.021	3	11.674	16.505	0.000*
	$\perp 20^\circ$ de parlaklık	5.618	3	1.873	147.197	0.000*
	$\perp 60^\circ$ de parlaklık	227.724	3	75.908	919.478	0.000*
	$\perp 85^\circ$ de parlaklık	729.594	3	243.198	6409.318	0.000*
	$\parallel 20^\circ$ de parlaklık	6.776	3	2.259	508.200	0.000*
	$\parallel 60^\circ$ de parlaklık	227.149	3	75.716	458.809	0.000*
	$\parallel 85^\circ$ de parlaklık	1632.193	3	544.064	528.531	0.000*
	Beyazlık indeksi (\perp)	482.489	3	160.830	3236.369	0.000*
	Beyazlık indeksi (\parallel)	393.963	3	131.321	556.969	0.000*
	Hata	Işıklılık (L^*)	12.362	36	0.343	
Kırmızı (a^*) renk tonu		11.253	36	0.313		
Sarı (b^*) renk tonu		6.133	36	0.170		
Kroma (C^*)		12.476	36	0.347		
Ton (h°) açısı		25.462	36	0.707		
$\perp 20^\circ$ de parlaklık		0.458	36	0.013		
$\perp 60^\circ$ de parlaklık		2.972	36	0.083		
$\perp 85^\circ$ de parlaklık		1.366	36	0.038		
$\parallel 20^\circ$ de parlaklık		0.160	36	0.004		
$\parallel 60^\circ$ de parlaklık		5.941	36	0.165		
$\parallel 85^\circ$ de parlaklık		37.058	36	1.029		
Beyazlık indeksi (\perp)		1.789	36	0.050		
Beyazlık indeksi (\parallel)		8.488	36	0.236		
Toplam		Işıklılık (L^*)	105690.021	40		
	Kırmızı (a^*) renk tonu	9689.955	40			
	Sarı (b^*) renk tonu	24079.664	40			
	Kroma (C^*)	33771.984	40			
	Ton (h°) açısı	133561.176	40			
	$\perp 20^\circ$ de parlaklık	14.540	40			
	$\perp 60^\circ$ de parlaklık	781.260	40			
	$\perp 85^\circ$ de parlaklık	1523.060	40			
	$\parallel 20^\circ$ de parlaklık	14.680	40			
	$\parallel 60^\circ$ de parlaklık	774.050	40			
	$\parallel 85^\circ$ de parlaklık	4050.100	40			
	Beyazlık indeksi (\perp)	3912.330	40			
	Beyazlık indeksi (\parallel)	1883.540	40			
	Düzeltilmiş Toplam	Işıklılık (L^*)	473.715	39		
Kırmızı (a^*) renk tonu		165.325	39			
Sarı (b^*) renk tonu		262.336	39			
Kroma (C^*)		413.274	39			
Ton (h°) açısı		60.483	39			
$\perp 20^\circ$ de parlaklık		6.076	39			
$\perp 60^\circ$ de parlaklık		230.696	39			
$\perp 85^\circ$ de parlaklık		730.960	39			
$\parallel 20^\circ$ de parlaklık		6.936	39			
$\parallel 60^\circ$ de parlaklık		233.090	39			
$\parallel 85^\circ$ de parlaklık		1669.251	39			
Beyazlık indeksi (\perp)		484.278	39			
Beyazlık indeksi (\parallel)		402.451	39			

*: Anlamlı

Renk parametrelerine, beyazlık indeksi (WI^*) değerlerine ve parlaklık değerlerine ait ölçüm sonuçları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Renk parametrelerine, beyazlık indeksi (WI^*) değerlerine ve parlaklık değerlerine ait ölçüm sonuçları
Table 5. Measurement results of color parameters, whiteness index (WI^*) values, and glossiness values

Test	Uygulama	Ölçüm Sayısı	Ortalama	Değişim Oranı (%)	HG	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	COV
L^*	Kontrol	10	57.03	-	A*	0.66	55.92	58.29	1.16
	1 kat	10	50.56	↓11.34	B	0.56	49.73	51.54	1.11
	2 kat	10	48.95	↓14.17	C	0.51	48.17	49.90	1.05
	3 kat	10	48.61	↓14.76	C**	0.59	47.57	49.78	1.22
a^*	Kontrol	10	12.17	-	C**	0.89	10.87	13.33	7.28
	1 kat	10	15.63	↑28.43	B	0.45	14.93	16.30	2.91
	2 kat	10	17.01	↑39.77	A*	0.36	16.53	17.70	2.09
	3 kat	10	16.92	↑39.03	A	0.36	16.44	17.61	2.14
b^*	Kontrol	10	20.06	-	C**	0.47	19.45	21.07	2.36
	1 kat	10	25.55	↑27.37	B	0.29	25.09	25.85	1.12
	2 kat	10	26.41	↑31.66	A*	0.47	25.91	27.60	1.77
	3 kat	10	25.59	↑27.57	B	0.39	24.96	26.12	1.54
C^*	Kontrol	10	23.47	-	D**	0.80	22.38	24.76	3.40
	1 kat	10	29.95	↑27.61	C	0.43	29.40	30.55	1.45
	2 kat	10	31.41	↑33.83	A*	0.57	30.83	32.78	1.81
	3 kat	10	30.68	↑30.72	B	0.49	29.99	31.32	1.59
h°	Kontrol	10	58.80	-	A*	1.49	56.63	60.94	2.54
	1 kat	10	58.55	↓0.43	A	0.60	57.77	59.81	1.03
	2 kat	10	57.20	↓2.72	B	0.27	56.90	57.64	0.47
	3 kat	10	56.54	↓3.84	B**	0.41	55.77	57.38	0.73
$\perp 20^\circ$	Kontrol	10	0.20	-	C	0.00	0.20	0.20	0.00
	1 kat	10	0.13	↓35.00	C**	0.05	0.10	0.20	37.16
	2 kat	10	0.43	↑115.00	B	0.12	0.30	0.60	26.97
	3 kat	10	1.08	↑440.00	A*	0.19	0.80	1.30	17.35
$\perp 60^\circ$	Kontrol	10	1.46	-	D**	0.11	1.30	1.60	7.36
	1 kat	10	1.78	↑21.92	C	0.12	1.70	2.00	6.91
	2 kat	10	4.18	↑186.30	B	0.17	4.10	4.50	4.03
	3 kat	10	7.42	↑408.22	A*	0.52	6.60	7.90	7.07
$\perp 85^\circ$	Kontrol	10	0.14	-	D**	0.08	0.10	0.30	60.23
	1 kat	10	0.68	↑385.71	C	0.04	0.60	0.70	6.20
	2 kat	10	6.55	↑4578.57	B	0.28	6.20	6.90	4.21
	3 kat	10	10.43	↑7350.00	A*	0.26	10.20	10.80	2.48
$\parallel 20^\circ$	Kontrol	10	0.20	-	C	0.00	0.20	0.20	0.00
	1 kat	10	0.10	↓50.00	D**	0.00	0.10	0.10	0.00
	2 kat	10	0.32	↑60.00	B	0.04	0.30	0.40	13.18
	3 kat	10	1.14	↑470.00	A*	0.13	1.00	1.30	11.10
$\parallel 60^\circ$	Kontrol	10	1.78	-	C**	0.08	1.70	1.90	4.43
	1 kat	10	1.90	↑6.74	C	0.00	1.90	1.90	0.00
	2 kat	10	3.37	↑89.33	B	0.56	2.90	4.20	16.61
	3 kat	10	7.66	↑330.34	A*	0.58	7.10	8.60	7.62
$\parallel 85^\circ$	Kontrol	10	0.54	-	D**	0.13	0.40	0.70	23.42
	1 kat	10	3.01	↑457.41	C	0.37	2.60	3.50	12.38
	2 kat	10	10.57	↑1857.41	B	1.52	8.50	13.00	14.40
	3 kat	10	16.74	↑3000.00	A*	1.28	14.40	17.90	7.67
WI^*	Kontrol	10	15.18	-	A*	0.08	15.10	15.30	0.52
	1 kat	10	8.16	↓46.25	B	0.24	8.00	8.60	2.90
	2 kat	10	7.25	↓52.24	C	0.28	7.00	7.60	3.81
\perp	3 kat	10	6.44	↓57.58	D**	0.25	6.10	6.80	3.82
	Kontrol	10	11.46	-	A*	0.76	11.00	12.90	6.65
	1 kat	10	4.98	↓56.54	B	0.55	4.20	5.40	11.07
\parallel	2 kat	10	4.24	↓63.00	C	0.18	4.10	4.50	4.33
	3 kat	10	3.66	↓68.06	D**	0.16	3.50	3.90	4.31

COV: Varyasyon Katsayısı, HG: Homojenlik Grubu, *: En yüksek değer, **: En düşük değer

L^* değeri için en yüksek sonuç kontrol deney grubu örneklerinde (57.03) elde edilirken, en düşük sonuç 3 kat balmumu uygulanmış örnekler üzerinde (48.61) tespit edilmiştir. L^* değeri için en yüksek azalış oranı %14.76 ile 3 kat balmumu uygulanmış örneklerde belirlenirken, en düşük azalma oranı %11.34 ile 1 kat balmumu uygulanmış örneklerde bulunmuştur (Tablo 5).

a^* değeri için en düşük sonuç kontrol deney grubu örneklerinde (12.17) görülürken, en yüksek sonuç 2 kat balmumu uygulanmış deney örneklerinde (17.01) belirlenmiştir. a^* değeri için en yüksek artış oranı %39.03 ile 3 kat balmumu uygulamasına sahip örnekler üzerinde tespit edilirken, en düşük artış oranı %28.43 ile 1 kat balmumu uygulanmış deney örneklerinde elde edilmiştir (Tablo 5).

b^* değeri için en düşük sonuç kontrol örneklerinde (20.06) bulununken, en yüksek sonuç 2 kat balmumu uygulanmış deney grubun ait örnekler üzerinde (26.41) görülmüştür. b^* değeri için en yüksek artış oranı %31.66 ile 2 kat balmumu uygulanmış örneklerde elde edilirken, en düşük artış oranı %27.37 ile 1 kat balmumu uygulanmış örneklerde tespit edilmiştir (Tablo 5).

C^* değeri için en düşük sonuç kontrol deney grubu örneklerinde (23.47) bulunurken, en yüksek sonuç 2 kat balmumu uygulanmış örnekler üzerinde (31.41) elde edilmiştir. C^* değeri için en yüksek artış oranı %33.83 ile 2 kat balmumu ile muamele edilmiş deney grubunda bulununken, en düşük artış oranı %27.61 ile 1 kat balmumu uygulanmış deney grubun ait örnekler üzerinde görülmüştür (Tablo 5).

h^o değeri için en yüksek sonuç kontrol deney grubu örneklerinde (58.80) belirlenirken, en düşük sonuç 3 kat balmumu uygulanmış örneklerde (56.54) bulunmuştur. h^o değeri için en yüksek azalma %3.84 ile 3 kat uygulanmış balmumu uygulamasına sahip örneklerde tespit edilirken, en düşük azalma %0.43 ile 1 kat balmumu uygulanmış örnekler üzerinde elde edilmiştir (Tablo 5).

Akçay, [6] tarafından ıhlamur, kayın, kavak ve sarıçam odunlarına ve Liu ve ark., [7] tarafından Avrupa cevizi (*Juglans regia*) ve Avrupa akçaağacı (*Acer pseudoplatanus*) odunlarına yapılan balmumunun uygulanması ile L^* değerlerinin azaldığı ve a^* ile b^* değerlerinin arttığı rapor edilmiştir. Bu sonuçlarda belirlenmiş olan sonuçlar bizim çalışmamızda elde edilen sonuçlar ile uyumaktadır.

Bütün yönlerde WI^* değerleri balmumu uygulaması ile azalmıştır. Liflere dik yöndeki WI^* değeri için en yüksek sonuç kontrol deney grubu örneklerinde (15.18) bulunurken, en düşük sonuç 3 kat balmumu uygulanmış deney örneklerinde (6.44) belirlenmiştir. Liflere dik yönde ölçülen WI^* değeri için, en yüksek azalış oranı %57.58 ile 3 kat balmumu uygulamasına sahip örnekler üzerinde elde edilirken, en düşük azalış oranı %46.25 ile 1 kat balmumu uygulanmış deney örneklerinde tespit edilmiştir (Tablo 5).

Liflere paralel yöndeki WI^* değeri için en yüksek sonuç kontrol örneklerinde (11.46) bulununken, en düşük sonuç 3 kat balmumu uygulanmış deney grubun ait örnekler

üzerinde (3.66) görülmüştür. Liflere paralel yönde yapılan WI^* değeri için en yüksek azalış oranı %68.06 ile 3 kat balmumu uygulanmış örneklerde elde edilirken, en düşük azalış oranı %56.54 ile 1 kat balmumu uygulanmış örneklerde tespit edilmiştir (Tablo 5).

60 ve 85 derecelerde her iki yönde ölçülen parlaklık değerlerinde balmumu uygulaması ile artışlar tespit edilmiştir. 20 derecede ise her iki yönde 1 kat balmumu uygulaması ile azalışlar elde edilirken, 2 ve 3 kat balmumu uygulaması ile artışlarında elde edildiği görülmektedir (Tablo 5).

Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Varyans analizi sonuçlarında kat sayısı faktörü açısından bütün testler anlamlı olarak tespit edilmiştir.
- a^* , C^* , b^* ile 60 ve 85 derecelerde yapılan her iki yöndeki parlaklık değerleri artış sonuçları sergilemiştir.
- Balmumu uygulamasına ait kat sayısının artmasıyla L^* , h^o ve WI^* (her iki yönde) değerleri azalmıştır.
- ΔE^* değerleri 1 kat balmumu ile 9.16, 2 kat balmumu ile 11.36 ve 3 kat balmumu ile 11.14 olarak elde edilmiştir.
- 2 ve 3 kat uygulamalarındaki ΔE^* değerlerinin birbirine yakın elde edilmesiyle 3 kat uygulamasının gerek olmadığı söylene bilinir.

Kaynaklar

- [1] George B., Suttie E., Merlin A., Deglise X., Photodegradation and photostabilisation of wood-the state of the art, Polymer degradation and stability, 88(2): (2005) 268-274. <https://doi.org/10.1016/j.polyimdegstab.2004.10.018>.
- [2] Chang C.C., Lu K.T., Organic-inorganic hybrid linseed oil-based urethane oil wood coatings, Journal of Applied Polymer Science, 134(10): (2017) 44562. <https://doi.org/10.1002/app.44562>.
- [3] Rowell R.M., Banks W.B., Water repellency and dimensional stability of wood. Gen. Tech. Rep. FPL-50. Madison, WI: US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory; (1985) 24 pages. <https://doi.org/10.2737/FPL-GTR-50>.
- [4] Liu R., Liu X., Zhang Y., Liu J., Gong C., Dong Y., Li J., Shi J., Wu M., Paraffin pickering emulsion stabilized with nano-SiO₂ designed for wood impregnation. Forests, 11(7): (2020) 726. <https://doi.org/10.3390/f11070726>.
- [5] Schultz T.P., Nicholas D.D., Ingram Jr L.L., Laboratory and outdoor water repellency and dimensional stability of southern pine sapwood treated with a waterborne water repellent made from resin acids, Holzforschung, 61(3): (2007) 317-322. <https://doi.org/10.1515/HF.2007.044>.
- [6] Akçay Ç., Determination of decay, larvae resistance, water uptake, color, and hardness properties of wood impregnated with honeybee wax, BioResources 15(4): (2020) 8339-8354. <https://doi.org/10.15376/biores.15.4.8339-8354>.
- [7] Liu X., Timar M.C., Varodi A.M., Nedelcu R., Torcatoru M.J., Colour and surface chemistry changes of wood surfaces coated with two types of waxes after seven years exposure

- to natural light in indoor conditions, *Coatings*, 12(11): (2022) 1689. DOI: 10.3390/coatings12111689.
- [8] Chen C., Chen, J., Zhang S., Cao J., Wang W., Forming textured hydrophobic surface coatings via mixed wax emulsion impregnation and drying of poplar wood, *Wood Science and Technology*, 54: (2020) 421-439. <https://doi.org/10.1007/s00226-020-01156-7>.
- [9] Zhang J.W., Liu H.H., Yang L., Han T.Q., Yin Q., Effect of moderate temperature thermal modification combined with wax impregnation on wood properties, *Applied Sciences*, 10(22): (2020) 8231. <https://doi.org/10.3390/app10228231>.
- [10] Niu K., Song K., Surface coating and interfacial properties of hot-waxed wood using modified polyethylene wax, *Progress in Organic Coatings*, 150: (2021) 105947. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105947>.
- [11] Janesch J., Arminger B., Gindl-Altmatter W., Hansmann C., Superhydrophobic coatings on wood made of plant oil and natural wax, *Progress in Organic Coatings*, 148: (2020) 105891. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105891>.
- [12] OCDE Consensus Document on the Biology of *Prunus* spp. (Stone fruits), Environment Directorate. Paris: OECD Environment Directorate, (2002) pp. 1-42.
- [13] Milošević N., Glišić I., Đorđević M., Cerović R., Radičević S., Marić S., Milošević T., Nikolić D., Influence of pollination treatments and temperature regimes on progamic phase and fruit set in three European plum (*Prunus domestica* L.) cultivars tolerant/resistant to Sharka virüs, *European Journal of Agronomy*, 149: (2023) 126909. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126909>.
- [14] Sekse L., Plum production in Norway, VIII International Symposium on Plum and Prune Genetics, Breeding and Pomology, *Acta Horticulturae*, 734: (2007) 23-26. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.734.1>.
- [15] Cerović R., Akšić M.F., Đorđević M., Meland M., The effects of pollinizers on pollen tube growth and fruit set of European plum (*Prunus domestica* L.) in a Nordic climate, *Scientia Horticulturae*, 288: (2021) 110390. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110390>.
- [16] Ortega-Vidal J., Ruiz-Martos L., Salido S., Altarejos J., Proanthocyanidins in pruning wood extracts of four European plum (*Prunus domestica* L.) cultivars and their hLDHA inhibitory activity, *Chemistry & Biodiversity*, e202200931 (2023). <https://doi.org/10.1002/cbdv.202200931>.
- [17] Chittendon F.R.H.S., *Dictionary of Plants plus Supplement*, Oxford University Press (1956).
- [18] Huxley A., *The New RHS Dictionary of Gardening*. MacMillan Press (1992). ISBN: 0-333-47494-5
- [19] Facciola S., *Cornucopia: A Source Book of Edible Plants*, Kampong Publication, (1990). ISBN: 0-9628087-0-9
- [20] Remiarz T., *Forest Gardening in Practice: An Illustrated Practical Guide for Homes, Communities and Enterprises*, Permanent Publications. (2017). ISBN: 185623293X.
- [21] Milosevic T., Milosevic N., Mratinic E., Morphogenic variability of some autochthonous plum cultivars in western Serbia, *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 53: (2010) 1293-1297.
- [22] Ayata Ü., İzmir yöresinde yetişen erik, karabiber ve tespih odunlarının statik sertliğinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 2(2): (2019) 94-102. <https://doi.org/10.33725/mamad.571364>.
- [23] Çavuş V., Sahin S., Esteves B., Ayata U., Determination of thermal conductivity properties in some wood species obtained from Turkey, *Bioresources*, 14(3): (2019) 6709-6715. <https://doi.org/10.15376/biores.14.3.6709-6715>.
- [24] 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).
- [25] 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).
- [26] Lange D.R., *Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e*. DR Lange: New York, NY, USA (1999).
- [27] DIN 5033, Deutsche Normen, Farbmessung. Normenausschuß Farbe (FNF) im DIN Deutsches Institut für Normung eV, Beuth, Berlin März. (1979).
- [28] ASTM E313-15e1, Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA. (2015).
- [29] 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).
- [30] Molino J.A., Kennedy J.F., Beuse P.A., Miller C.C., Davis W., Andersen C.K., Daytime color appearance of retroreflective traffic control sign materials (No. FHWA-HRT-13-018). United States, Federal Highway Administration (2013).
- [31] ISO 2813, Paints and varnishes - Determination of gloss value at 20°, 60° and 85°, Standard, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. (2014).



Investigation of the Effect of Lightning Surge Voltages on Photovoltaic Systems

Şafak Kölemenoglu^{1,a}, Mustafa Şeker^{2,b*}

¹ TEDAŞ 8. Bölge Müdürlüğü, Kümbet Mahallesi 8. sk.no. 22 Merkez-SİVAS

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, 58140 Merkez/SİVAS

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 22/12/2023
Accepted: 02/01/2024

ABSTRACT

The need for renewable energy in electricity generation is increasing day by day. Solar energy has the greatest potential among renewable energy sources. Lightning overvoltages occurring in electrical systems cause permanent and instantaneous interruptions in the system as well as the failure of system equipment. In this study, a 100 kW photovoltaic system is modeled using Matlab/Simulink and transient events in the PV system in case of a lightning strike on the inverter output are investigated. A 1.2/50 lightning pulse is modeled using the Heidler function to model the lightning waveform. Perturb & Observe optimization algorithm is used to determine the maximum power point in the system. A boost converter structure was designed as the DC-DC converter structure and the AC output of the system was obtained with a bridge inverter. Simulation results show that lightning strikes can cause serious damage to the equipment used in PV systems. Therefore, in order to protect PV systems from the effects of lightning strikes and to ensure system safety, it is recommended to provide surge arrester protection at the appropriate location in all applications.

Keywords: PV systems, Lightning over voltage, DC-DC converter, Inverter

Yıldırım Aşırı Gerilimlerinin Fotovoltaik Sistemler Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

ÖZ

Elektrik üretiminde yenilenebilir enerjiye duyulan gereksinim her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde de en büyük potansiyeli güneş enerjisi oluşturmaktadır. Elektriksel sistemlerde meydana gelen yıldırım aşırı gerilimleri sistemde kalıcı ve anlık kesintilere sebep olduğu gibi sistem ekipmanlarının bozulmasına da neden olmaktadır. Bu çalışmada 100 kW gücünde fotovoltaik sistem Matlab/Simulink kullanılarak modellenmiştir ve PV sistemde invertör çıkışına yıldırım düşmesi durumundaki geçici olaylar incelenmiştir. Yıldırım dalga formunun modellenmesinde Heidler fonksiyonu kullanılarak 1.2/50'lik yıldırım darbesi modellenmiştir. Sistemde maksimum güç noktasının belirlenmesinde Değiştir&Gözlemler(Perturb&Observe) optimizasyon algoritması kullanılmıştır. DC-DC konvertör yapısı olarak boost konvertör yapısı tasarlanmış ve köprü evirici invertör ile sistemin AC çıkışı elde edilmiştir. Benzetim sonuçları yıldırım çarpmalarının PV sistemlerde kullanılan ekipmanlara ciddi hasarlar verebileceğini göstermektedir. Bu nedenle PV sistemlerin yıldırım çarpmalarının neden olduğu etkilerinden korunması ve sistem güvenliğini sağlamak için uygun lokasyonda parafudur korumasının tüm uygulamalarda kullanılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: PV sistemler, Yıldırım aşırı gerilimler, DC-DC konvertör, İnvörtör

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

^a skolemenoglu@gmail.com

^b 0000-0002-0156-1307

mustafaseker@cumhuriyet.edu.tr

0000-0002-3793-8786

How to Cite: Kölemenoglu Ş, Şeker M (2024) Investigation of the Effect of Lightning Surge Voltages on Photovoltaic Systems, Journal of Engineering Faculty, 2(1): 9-15.

Giriş

Nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere yönelik talepler enerji arzında büyük bir artışa yol açmaktadır. Günümüzün en önemli probleminden biri olan küresel ısınmaya sebep olan fosil yakıtların çevreye verdiği zarar düşünüldüğünde bu sorunu çözmek ve daha çevreci olarak enerji üretebilmek için ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir[1]. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında, güneş enerjisi sonsuz bir kaynak olması, doğal, ekolojik çevreye uyumlu, bakım maliyetlerinin düşük ve ekonomik olması gibi birçok avantajı nedeni ile öne çıkmaktadır[2]. Gelecekte güneş enerjisi, dünya üzerinde ihtiyaç duyulan enerji ihtiyacını tek başına karşılama potansiyeline sahiptir. 2050 yılına kadar yenilenebilir enerjinin tüm arz değerinin yaklaşık %50 sinden fazlasını üretebileceğini öngörülmektedir[3].

Yıldırımlar; atmosferik olaylara bağlı olarak ortaya çıkan doğa olayıdır. Yıldırım aşırı gerilimlerinin iletim ve dağıtım sistemlerinde karşılaşılan önemli elektrik kesintileri ve arızalara yol açar. Günümüzde elektriksel sistemlerde hassas yüklerin kullanılması artması nedeniyle sistemde oluşacak herhangi bir kesinti, kalıcı arızalar ele alınması gereken önemli bir konu haline gelmiştir. Yıldırımlarda bu arızaların oluşmasında önemli bir istatistiğe sahip olması nedeniyle incelenmesi gereken önemli bir konu haline gelmiştir. Zira yıldırımlar elektrik ve otomasyon sistemlerinde çok yüksek maliyet içeren arızalara sebep olabilirler[4], [5].

Fotovoltaik (PV) sistemler çatı veya güneş tarlası olarak adlandırılan açık alanlara kurulurlar. PV sistemler şebekeye bağlı çalıştırılabildikleri gibi şebekeden bağımsız olarak da çalıştırılabilirler. Kurulum şekli nasıl olursa olsun sistemin kesintiye uğramadan çalışması arzu edilir ve sistemde oluşabilecek arızalarından kaçınmak için koruma ekipmanlarına ihtiyaç duyulur.

PV sistemin doğrudan veya dolaylı olarak yıldırım darbesine maruz kalması sistemin tamamına zarar verebilir. PV sistemin doğrudan yıldırım darbesine maruz kalması invertörlerin, kabloların ve sigortaların tahrip olmasına yol açabilir. Yıldırım yoğunluğunun yüksek

olduğu bir alanda PV sistemin kurulmasında paneller ve diğer bileşenlerde yıldırım darbesinden etkilenir[6]. Bir PV sisteme yıldırım çarpması durumu ve oluşan aşırı gerilimin panel üzerindeki etkisi sırası ile Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.

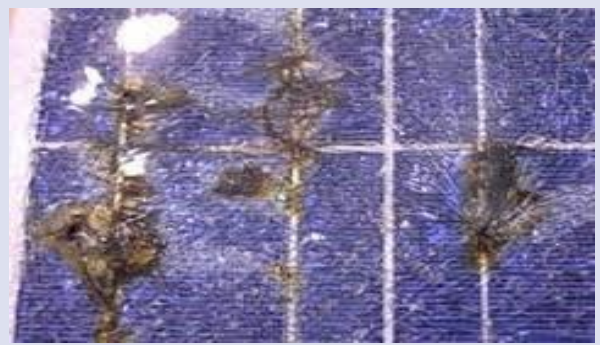
Şekillerden de görülebileceği gibi PV sistemin ömrünü belirlemede yıldırımdan korunma sisteminin kullanılması oldukça önemlidir[7]. PV modüllerin yıldırım darbesine maruz kalması bir çok araştırmacı tarafından inceleme konusu olmuştur.

Naxakis ve çalışma arkadaşları, yıldırım darbesi altında mono kristal PV modülün performansını değerlendirmiştir. Gerçekleştirmiş olduğu incelemelerde 144 kV yıldırım darbesinde PV modülün tamamen hasar gördüğü ve elektriksel özelliklerinin bozulduğunu belirlemişlerdir. Ardından 12 kV ve 35 kV'a kadar IEC 61730-2'ye göre yapılan testlerde, PV modüllerde belirgin bir bozulma olmadığını belirlemişlerdir[8]. Jiang ve Gryzbowski'nin [9] ise PV modülünün mümkün olan en yüksek güç çıkışının yıldırım darbe gerilimleriyle üstel olarak azaldığını bulunmuştur. Düşük yıldırım darbe gerilimi seviyelerinde bile, sonuçlar PV modülünün elektriksel olarak bozulduğunu ancak 1000V gerilim için modüllerin herhangi bir anormal hasara sahip olmadığını göstermiştir[9]. Sekioka[10] ise yıldırım çarpmalarında çerçevesel PV panellerin yüzeylerinde yük oluştuğunu ve PV panellerin korunmasının dikkate alınmasını önermiştir. Hem Belik[11] hem de Abdul Rahim ve diğerleri[12] indüklenen voltaj oluşumunun dolaylı yıldırımdan kaynaklandığını ve kablolar ile PV modülleri arasında yüksek voltajlı bir kıvılcıma neden olduğunu ve böylece PV paneline ciddi şekilde zarar verdiğini vurgulamıştır.

Bu çalışmada şebekeden bağımsız olarak çalışan bir PV sisteme yıldırım düşmesi durumunda oluşabilecek aşırı gerilimler Matlab/Simulink kullanılarak incelenmiştir. PV sistemin modellenmesinde tek diyot devre modeli kullanılmıştır. Yıldırım etkisini değerlendirmede 1.2/50 µs'lik yıldırım akımı dalga formu Heidler fonksiyonu kullanılarak modellenmiştir.



Resim 1. Yıldırımın PV santral üzerine çarpması
Figure 1. Lightning strikes PV power plant



Resim 2. Yıldırım darbesinin PV modül üzerindeki etkisi.
Figure 2. Impact of lightning pulse on PV module.

Metodoloji

PV dizilerinin Modellenmesi

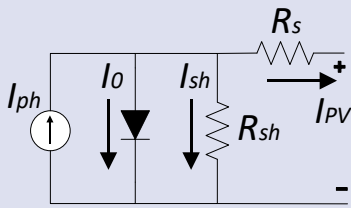
Çıkış voltajı V ve PV hücre akımı I olmak üzere PV hücrelerin modellenmesinde kullanılan tek diyotlu eşdeğer devre modeli Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3'ten görüldüğü gibi PV hücrenin tek diyotlu modeli, bir şönt direnci R_{sh} ve bir seri direnç R_s 'nin yanı sıra, P-N bağlantısını taklit eden bir diyot ile bağlı bir kaynak foton akımı I_{ph} içerir. Bu nedenle, PV akımı denklem (1) ile ifadesi ile tanımlanabilir. (1) denkleminde V , I_{ph} , T , K sembolleri sırası ile bias voltajı, diyot akımı, Boltzman sabiti ve mutlak sıcaklıktır [13].

$$I = I_{ph} - I_s \left\{ \exp \left(\frac{V + IR_s}{aKTn_n} \right) - 1 \right\} - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (1)$$

Maksimum Güç Noktası İzleyici

Güneş enerjisi PV modül tarafından doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülür. Fakat PV modül bu dönüştürme işleminde birçok çevresel değişimden etkilenir. Bu çevresel değişimler içerisinde PV hücrenin maruz kaldığı solar radyasyon miktarı ve sıcaklık en belirliyi parametrelerdir [14]. Bu parametrelerin değişimine bağlı olarak PV hücre lineer olmayan çalışma karakteristiğine sahiptir. Bu nedenle PV sistemden maksimum verim elde edilebilmesi için maksimum güç noktası (MPPT) olarak adlandırılan güç noktasında sistem çalıştırılmalıdır. Uygun güç elektroniği ekipmanlarının kullanımı ve mikroişlemci tabanlı izleme algoritmaları (MPPT algoritmaları) kullanılarak PV sistemler maksimum güç noktasında çalıştırılabilir.

Bu yapı Şekil 4'de gösterildiği gibi bir DC-DC boost konvertör yapısı ve Mosfet'i tetikleyecek izleme algoritması kullanılarak gerçekleştirilebilir. Uygulanacak Duty değerine göre çıkış gerilimi ve akımı (2) ve (3) denklemleri ile tanımlanır. Bu denklemlerde; α - duty



Resim 3. PV hücrenin tek diyot eşdeğer devre modeli.
Figure 3. Single diode equivalent circuit model of a PV cell.

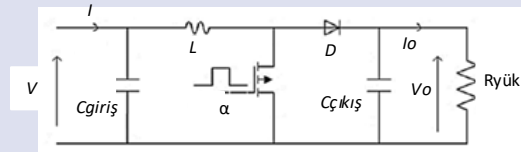
döngüsü, V dönüştürücü giriş gerilimi, V_0 ve I_0 ise sırası ile dönüştürücünün çıkış gerilimi ve çıkış akımıdır.

$$V_0 = \frac{V}{1 - \alpha} \quad (2)$$

$$I_0 = I \cdot (1 - \alpha) \quad (3)$$

Değiştir ve Gözlemle Algoritması (Perturb&Observe-PO)

Değiştir ve gözlemle algoritması (PO) PV modüllerin maksimum güç noktasının izlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir optimizasyon algoritmasıdır. Fotovoltaik panellerin güç-gerilim (P-V) eğrisinden faydalanılarak geliştirilmiştir. PO algoritmasında PV gücü sürekli olarak izlenir [15]. İzlenen güç değerine bağlı olarak sistemin maksimum güç noktasına (MPPT) ulaşmak için panel geriliminde artırma ve azaltma yapılır. Her bir arttırım ve azaltım işleminden sonra güçteki değişim hesaplanır. Bu işlem sırasında sürekli olarak bir denetleme yapıldığından panel gücündeki değişimler küçük dalgalanmalar içerir [16] Algoritmanın çalışmasında izlenen gücün maksimum güç noktasının sağında veya solunda olması durumuna bakılır. Eğer hesaplanan güç değeri maksimum güç noktasının sağındaysa gerilim değeri artırılarak güç değerinin de artırılması sağlanır. Bu durumda şayet gerilim değeri azaltılırsa güç değeri de azalacaktır. Ters olarak izlenen güç maksimum güç noktasının sol tarafında ise gerilim değeri artırıldığında ilk durumun tersi olarak güç azalacaktır. Gerilim değeri azaltıldığında ise güç artacaktır. Böylece gerilim değişimindeki değere bağlı olarak güçteki değişim izlenir ve sonraki adımda izlenecek gerilim değerine karar verilir. Değiştir ve gözlemle algoritması için maksimum güç noktasına ulaşmada izlenen gerilim değişim kararı Çizelge 5'de verilmiştir. Algoritmanın işleyişini gösteren akış diyagramı ise Şekil 6' de sunulmuştur.

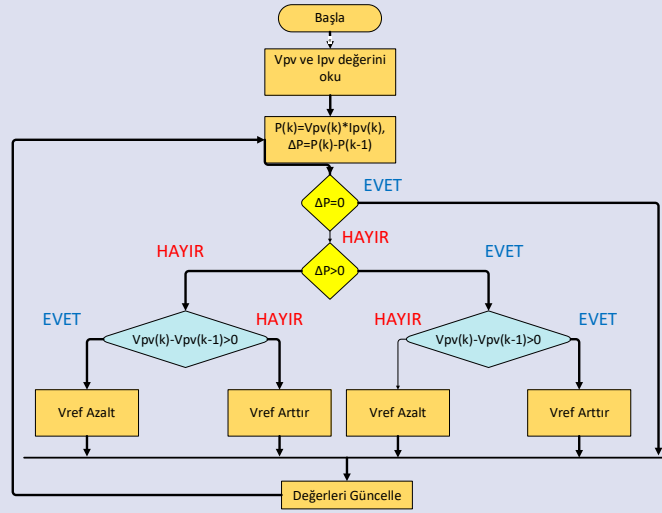


Resim 4. DC-DC Boost Dönüştürücü.
Figure 4. DC-DC Boost Converter.

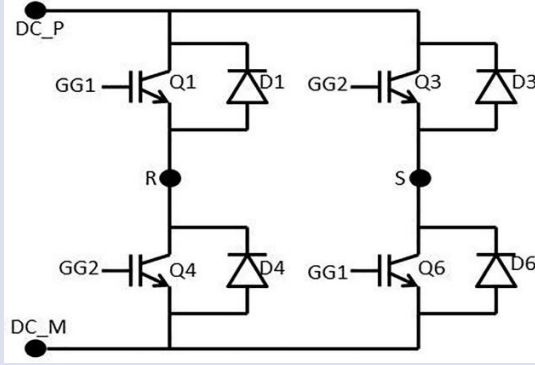
Çizelge 1. Gerilim değeri değişimi karar Çizelgesi.

Table. 1. Voltage value change decision chart.

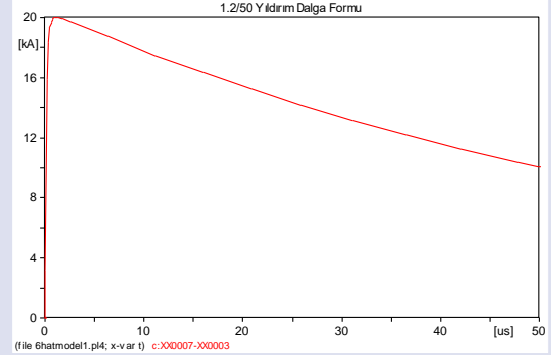
Gerilim değerindeki değişim	Güçteki değişim	Değişim yönü
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif



Resim 5. Değiştir ve Gözlemler algoritması akış şeması
Figure 5. Flowchart of the Modify and Observe algorithm



Resim 6. Tek faz H köprü evirici.
Figure 6. Single phase H bridge inverter.



Resim 7. 1.2/50 μs yıldırım akımı dalga formu.
Figure 7. 1.2/50 μs lightning current waveform.

Tek Faz Evirici Modeli

Evirici, DC kaynağın şebekeye bağlandığı noktada kullanılır ve DC-AC enerji dönüşümünü sağlar[17]. Bu çalışmada verimliliğinin yüksek olmasından dolayı H-köprülü evirici kullanılmıştır[18].

Yıldırım Akımının Modellenmesi

Yıldırımdan koruma çalışmalarının yapılmasında, yıldırım akımını tanımlamada kullanılan eksponansiyel model, çift eksponansiyel model ve Heidler fonksiyonu gibi çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir[19]. Heidler fonksiyonu yıldırım akımı dalga formunu tanımlama en sık kullanılan matematik fonksiyonlardan biridir ve (15) eşitliği ile ifade edilir[20][21].

$$I(t) = \frac{I_{mak}}{\eta} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}} \quad (4)$$

Bu ifadede, τ_1 ve τ_2 yıldırım akımının artma ve azalması durumundaki zaman sabitleri, I_{mak} akımın maksimum değeri ve η düzeltme faktörüdür. (4) ifadesinin türevi alınarak sıfıra eşitlendiğinde ve gerekli sadeleştirmeler yapıldığında düzeltme

katsayısı (5) eşitliği ile ifade edilir. Bu çalışmada kullanılan 1.2/50 μs'lik yıldırım akımı dalga formu Şekil 7'de sunulmuştur.

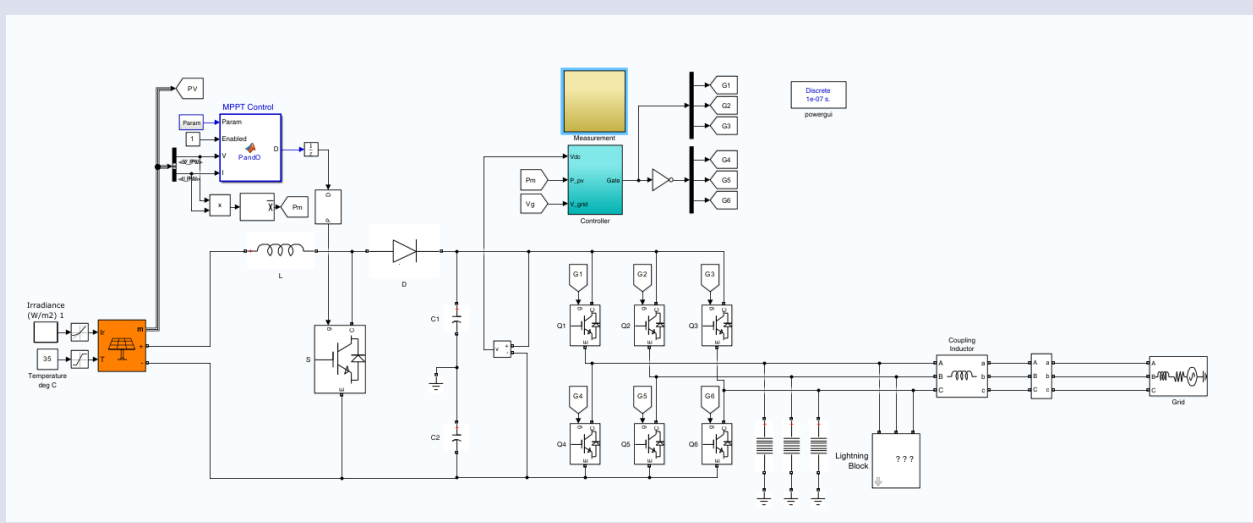
$$\eta = e^{-\frac{\tau_1}{\tau_2}} \cdot n+1 \sqrt{\frac{n \cdot \tau_2}{\tau_1}} \quad (5)$$

100 kW Şebekeye Bağlı PV Sistem Modeli ve Analiz Sonuçları

Çalışmanın bu bölümünde, Bölüm 2'de açıklanan PV hücre modeli, DC-DC konvertör "yapısı ve değiştir&gözlemler optimizasyon algoritması kullanarak tasarlanan maksimum güç izleyicisi ile invertör yapısı 100 kW'lık bir PV sistem için Matlab/Simulink kullanılarak Şekil 8'de gösterildiği gibi modellenmiştir. Modelde invertör çıkışına 1 kV parafudur tasarlanarak her bir faz için aşırı gerilimlere karşı koruma yapması amaçlanmıştır. Yıldırım akımı dalga formu olarak 1.2/50 μs'lik 10 kA genliğe sahip yıldırım akımı dalga formu kullanılmıştır. Şekil 8'de gösterildiği gibi invertör çıkışına yıldırım düşmesi durumunda DC-DC konvertörün çıkış kapasitörü üzerinde oluşan gerilim değerleri sistemdeki parafudurların devrede olduğu ve olmadığı durumlar için analiz edilerek karşılaştırılmıştır.

Sistemde kullanılan solar modüller ve diğer sisteme ilişkin olarak parameter değerleri Çizelge 2'de sunulmuştur. Sistemin 64 paralel ve 5 seri dizi yapısında tasarlanması durumunda

fotovoltaik panellerin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristikleri ise Şekil 9'da sunulmuştur.

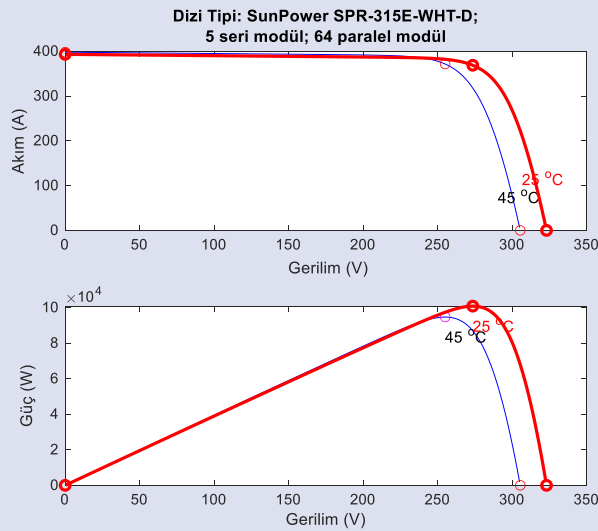


Resim 8. 100 kW PV sistem yapısı.
Figure 8. 100 kW PV system structure.

Çizelge 2. Sisteme ait temel parametreler

Table 2. Basic parameters of the system

Sistem Bileşeni	Miktarı	Özellikleri
Solar Modüller	64 paralel 5 Seri string (100 kW)	PV panel gücü=315 W
		PV string gerilimi (5 Seri panel)=323 V
		Herbir dizinin akımı= 392 A
		Tek PV hücrenin akımı=6,14 A
İnvertör	1	Tek PV hücrenin kısa devre gerilimi=64,6 V
Şebeke	1	AC güç 100 kW
		Şebeke çıkış gücü =100 kW



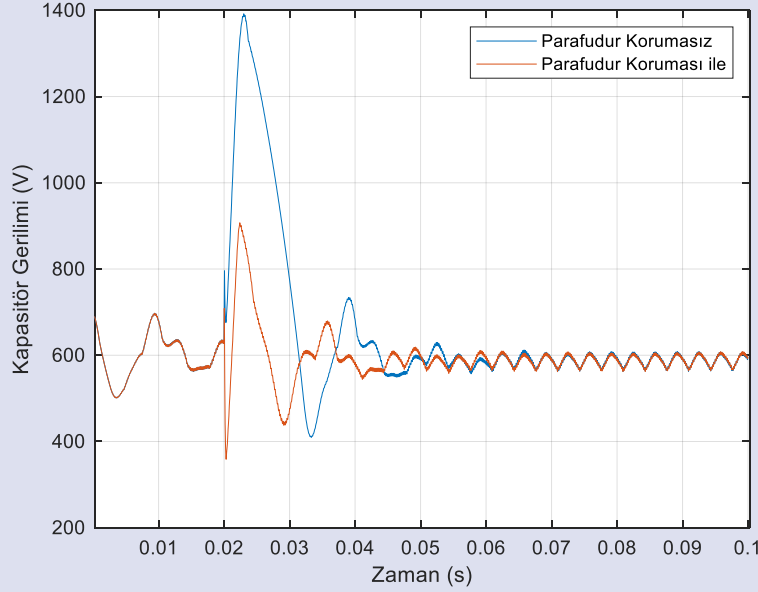
Resim 9. 64 paralel ve 5 seri dizi yapısında tasarlanması durumunda fotovoltaik panellerin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristikleri.

Figure 9. Current-voltage (I-V) and power-voltage (P-V) characteristics of photovoltaic panels when designed in 64 parallel and 5 series array structures.

Parafudur koruması kullanılması durumu ve kullanılması durumlarının incelenmesi

PV sistemde invertör çıkışında parafudur korumasının devrede olmadığı ve olduğu durumlar için DC-DC konvertör çıkışındaki kapasitörler üzerinde oluşan gerilim grafiksel olarak Şekil 10'da gösterilmiştir. 1 kV üzerindeki gerilimlerin sistemde kullanılan ekipmanlara ve PV panellere zarar verdiği bilinmektedir. Parafudur korumasının olmadığı durumlarda invertör çıkışındaki

herhangi bir noktanın yıldırım darbesine maruz kalması sonucunda oluşacak aşırı gerilimler PV panellerin ve sistem elemanlarının zarar görmesine neden olacaktır. Bu benzetim modelinde kullanılan parafudur değerleri PV sistem tasarımında kullanılan 1 kV'luk maksimum gerilim değerini bastırarak şekilde modellenmiştir. Şekil 10'dan görüldüğü üzere sistemde parafudur kullanılması sistem ekipmanlarının zarar görmemesi engelleyerek gerilimi baskılayacaktır.



Resim 10. Yıldırım aşırı geriliminin korumalı ve korumasız olarak kapasitör üzerindeki etkisi.
Figure 10. Effect of lightning overvoltage on capacitor with and without protection.

Bulgular ve Öneriler

Fotovoltaik sistemlerin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada fotovoltaik sistemlerin, yıldırım aşırı gerilimine maruz kalması durumundaki etkileri incelenmiştir. Günümüzde özellikle küçük boyutlu çatı tipi PV uygulamalarında parafudur koruması kullanılmamaktadır. Bu durum sistemin yıldırım darbesine maruz kalması halinde kısmen veya tamamen kullanılmaz hale gelmesine neden olmaktadır. Sunulan benzetim modelinde, PV sistemin modellenmesinde tek diyot devre modeli kullanılmıştır. Yıldırım etkisini değerlendirmede 1.2/50 μ s'lik yıldırım akımı dalga formu Heidler fonksiyonu kullanılarak modellenmiştir.

Elde edilen sonuçlar invertör çıkışından uygulanacak parafudur koruması ile invertör, maksimum güç izleyici ve PV paneller gibi fotovoltaik sistemi oluşturan temel bileşenlerin uygun bir şekilde korunabileceğini göstermektedir. Sunulan yaklaşım büyük güçlü PV tarlalarında kullanılmaktadır ancak üretim gücü ne olursa olsun sistemlerin devamlılığını sağlamak ve korumak adına PV ile üretim yapılan tüm tesislerde (özellikle çatı uygulamalarında) boyut fark etmeksizin parafudur

korumasının bir zorunluluk haline getirilmesi gerekmektedir.

References

- [1] A. A. Zaki Diab and H. Rezk, "Global MPPT based on flower pollination and differential evolution algorithms to mitigate partial shading in building integrated PV system," *Sol. Energy*, vol. 157, pp. 171–186, 2017, doi: 10.1016/j.solener.2017.08.024.
- [2] R. K. Akikur, R. Saidur, H. W. Ping, and K. R. Ullah, "Comparative study of stand-alone and hybrid solar energy systems suitable for off-grid rural electrification: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 27, pp. 738–752, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.06.043.
- [3] M. Z. A. Ab Kadir, Y. Rafeeu, and N. M. Adam, "Prospective scenarios for the full solar energy development in Malaysia," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 9, p. 3023, 2010, doi: 10.1016/j.rser.2010.07.062.
- [4] S. L. Wong, N. Ngadi, T. A. T. Abdullah, and I. M. Inuwa, "Recent advances of feed-in tariff in Malaysia," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 41, pp. 42–52, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.08.006.
- [5] A. Asuhaimi, M. Zin, S. Member, and S. P. A. Karim, "in Tenaga Nasional Berhad Malaysia," vol. 22, no. 4, pp. 2047–2056, 2007.

- [6] Y. Tu, C. Zhang, J. Hu, S. Wang, W. Sun, and H. Li, "Research on lightning overvoltages of solar arrays in a rooftop photovoltaic power system," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 94, pp. 10–15, 2013, doi: 10.1016/j.epsr.2012.06.012.
- [7] N. I. Ahmad et al., "Lightning protection on photovoltaic systems: A review on current and recommended practices," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. March, pp. 1611–1619, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.07.008.
- [8] I. Naxakis, E. Pyrgioti, V. Perraki, and E. Tselepis, "Studying the effect of the impulse voltage application on sc-Si PV modules," *Sol. Energy*, vol. 144, pp. 721–728, 2017, doi: 10.1016/j.solener.2017.01.072.
- [9] T. Jiang and S. Grzybowski, "Influence of lightning impulse voltages on power output characteristics of Photovoltaic modules," *ICHVE 2014 - 2014 Int. Conf. High Volt. Eng. Appl.*, no. 4, 2014, doi: 10.1109/ICHVE.2014.7035488.
- [10] S. Sekioka, "An experimental study of sparkover between a rod and a photovoltaic panel," *2012 31st Int. Conf. Light. Prot. ICLP 2012*, 2012, doi: 10.1109/ICLP.2012.6344268.
- [11] M. Belik, "PV panels under lightning conditions," *Proc. 2014 15th Int. Sci. Conf. Electr. Power Eng. EPE 2014*, pp. 367–370, 2014, doi: 10.1109/EPE.2014.6839446.
- [12] N. H. A. Rahim et al., "Investigation of wave propagation to PV-solar panel due to lightning induced overvoltage," *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 12, no. 1, pp. 47–52, 2014, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v12i1.1976.
- [13] R. Venkateswari and N. Rajasekar, "Review on parameter estimation techniques of solar photovoltaic systems," *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 31, no. 11, pp. 1–72, 2021, doi: 10.1002/2050-7038.13113.
- [14] K. Aygöl, M. Cikan, T. Demirdelen, and M. Tumay, "Butterfly optimization algorithm based maximum power point tracking of photovoltaic systems under partial shading condition," *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 00, no. 00, pp. 1–19, 2019, doi: 10.1080/15567036.2019.1677818.
- [15] Tekeshwar Prasad Sahu and T. V. Dixit, "Modelling and Analysis of Perturb & Observe and Incremental Conductance MPPT Algorithm for PV Array Using Çuk Converter" *2014 IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science*, 2014. DOI: 10.1109/SCEECS.2014.6804468.
- [16] Rajiv Roshan; Yatendra Yadav; S Umashankar; D Vijayakumar; D P Kothari, "Modeling and simulation of Incremental conductance MPPT algorithm based solar Photo Voltaic system using CUK converter." *2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*, DOI: 10.1109/ICEETS.2013.6533450
- [17] S. Riyadi, "Single-phase single-stage PV-grid system using VSI based on simple control circuit," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 3, no. 1, pp. 9–16, 2013, doi: 10.11591/ijpeds.v3i1.1860.
- [18] J. Sastry, P. Bakas, H. Kim, L. Wang, and A. Marinopoulos, "Evaluation of cascaded H-bridge inverter for utility-scale photovoltaic systems," *Renew. Energy*, vol. 69, pp. 208–218, 2014, doi: 10.1016/j.renene.2014.03.049.
- [19] M. ŞEKER, "Parameter estimation of positive lightning impulse using curve fitting-based optimization techniques and least squares algorithm," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 205, no. November 2021, 2022, doi: 10.1016/j.epsr.2021.107733.
- [20] F. Heidler, J. M. Cvetić, and B. V. Stanić, "Calculation of lightning current parameters," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 14, no. 2, pp. 399–404, Apr. 1999, doi: 10.1109/61.754080.
- [21] F. Heidler and J. Cvetić, "A class of analytical functions to study the lightning effects associated with the current front," *Eur. Trans. Electr. Power*, vol. 12, no. 2, pp. 141–150, 2002, doi: 10.1002/etep.4450120209.



Determination of Electrical and Optical Parameters of Schottky Diode with Metal Complex Interlayer

Fatma Zehra Bayat^{1,a}, Hülya Doğan^{1,b*}, Mustafa Şeker^{1,c}

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 27/04/2024

Accepted: 14/05/2024

ABSTRACT

In this article, Ruthenium(II) metal complex was deposited as an intermediate layer on p-type silicon (Si) using the spin coater method. Seventeen (17) Al/Ru(II)complex/p-Si/Al dots were produced under the same conditions, and their current–voltage (I–V) characteristics were taken at room temperature, both in the dark and under 100mW/cm² illumination. It was observed that all diodes exhibited rectifying behavior. The ideality factor (n), barrier height (Φ_b), rectification ratio (RR) and series resistance (R_s) of each point were determined according to thermionic emission (TE) theory and modified Norde function. In the dark, n and Φ_b values were found to be in the range of 1.238-2.932 and 0.643-0.874 eV, respectively, for 17 diodes. In addition, the photovoltaic and photodiode properties of one of the Al/Ru(II) complex/p-Si/Al diodes (coded R12) at room temperature were evaluated under different light intensities applied in the dark and at a light intensity of 100 mW/cm², and for electrical characterization, capacitance-voltage (C-V) was measured in the dark environment. Φ_b , diffusion potential (Vd) and carrier concentration (N_a) were calculated from measurements. From the photovoltaic parameters, open circuit voltage (Voc), short circuit current (Isc), filling factor (FF) and experimental efficiency (η) were calculated for the R12 dot diode and 339x10⁻³ V and 13.1x10⁻⁶ A, 62.9% and 0.514%, respectively. It was found to be photosensitivity (R) and specific detectivity (D*) values were also calculated from the photodiode parameters, and from these experimental findings, it can be said that Ru(II) metal complex thin film-based structures can be used in the development of optoelectronic devices.

Keywords: Schottky Diode, Metal Complex, Photovoltaic, Photodiode

Metal Kompleks Ara Katmanlı Schottky Diyotun Elektriksel ve Optik Parametrelerin Belirlenmesi

ÖZ

Bu çalışmada Rutenyum(II) metal kompleks p tipi silisyum (Si) üzerine spin kaplayıcı (spin coater) yöntemi ile ara katman olarak biriktirilmiştir. On yedi (17) adet Al/Ru(II)kompleks/p-Si/Al diyot aynı şartlar altında üretilmiş ve bunların akım-voltaj (I–V) özellikleri oda sıcaklığında, hem karanlıkta hem de 100mW/cm² aydınlatma altında alınmıştır. Tüm diyotların doğrultucu davranış sergilediği görülmüştür. Her noktanın idealite faktörü (n), bariyer yüksekliği (Φ_b), doğrultma oranı (RR) ve seri direnci (R_s), termiyonik emisyon (TE) teorisi ve modifiye edilmiş Norde fonksiyonuna göre belirlenmiştir. Karanlıkta, n ve Φ_b değerleri 17 diyot için sırasıyla 1,238- 2,932 ve 0,643-0,874 eV aralığında bulunmuştur. Ayrıca Al/Ru(II)kompleks/p-Si/Al diyotlarından birisinin (R12 kodlu) oda sıcaklığındaki fotovoltajik ve fotodiyot özelliklerine karanlıkta ve 100 mW/cm² ışık yoğunluğunda uygulanan farklı ışık şiddetleri altında ve elektriksel karakterizasyon için karanlık ortamda kapasitans-gerilim (C-V) ölçümlerinden Φ_b , difüzyon potansiyeli (Vd) ve taşıyıcı konsantrasyonu (N_a) hesaplanmıştır. Fotovoltajik parametrelerden açık devre voltajı (Voc), kısa devre akımı (Isc), dolun faktörü (FF) ve deneysel verimlilik (η) hesaplanmış ve R12 kodlu diyotun bu parametreleri sırasıyla 339x10⁻³ V ve 13,1x10⁻⁶ A, % 62,9 ve %0,514 olarak bulunmuştur. Fotodiyot parametrelerinden foto duyarlılık (R) ve spesifik detektivite (D*) değerleri de hesaplanmış ve bu deneysel bulgulardan, Ru(II) metal kompleks ince film tabanlı yapıların optoelektronik cihazların gelişiminde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Schottky Diyot, Metal Kompleks, Fotovoltajik, Fotodiyot

Copyright



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

^a 20209233006@cumhuriyet.edu.tr
^c mustafaseker@cumhuriyet.edu.tr

^{ib} 0000-0002-4349-7403
^{ib} 30000-0002-3793-8786

^b hdogan@cumhuriyet.edu.tr

^{ib} 0000-0002-5501-2194

How to Cite: Bayat FZ, Şeker M, Doğan H (2024) Determination of Electrical and Optical Parameters of Schottky Diode with Metal Complex Interlayer, Journal of Engineering Faculty, 2(1): 16-24.

Giriş

Fotodiyotlar ters polarma yönünde çalışan ışık enerjisini elektrik akımına dönüştüren yarıiletken optoelektronik cihazlardır. Bir fotodiyot, metal-yarıiletken kontak(schottky), p-n eklemi ve p-i-n bileşenlerden oluşabilir. Elektronik ve optoelektronik cihazlar üzerine yapılan çalışmalar daha çok organometalik bileşikler üzerinde durmaktadır.

Metal kompleksler özellikle fotodiyot, fotodedektör ve optik sensörler gibi optoelektronik teknolojinin ilgi alanı konumuna gelmiştir. [1-4]. Işığı absorbe eden molekül foton enerjisini uyarılmış duruma geçerek kısa süreliğine bu enerjiyi kimyasal enerji olarak depolar[1]. Organometalik yapı olan Ru kompleksleri, üstün fotokimyasal ve fotofiziksel özelliklere sahiptir [3]. Bu tür kompleksler özellikle termal kararlılık, fotokataliz, fotokimya ve elektrokimya gibi uygulamalar için benzersizdir[4]. Bu özellikler, rutenyum (II) komplekslerinin çeşitli uygulamalarının (örneğin, yapay fotosentetikler [5], sensörler [6] ve kataliz [7]) geliştirilmesini sağlamıştır. Bu uygulamalardan boyaya duyarlı güneş pilleri (DSC'ler), geleneksel silisyum tabanlı fotovoltaiik cihazlara alternatif olarak büyük ilgi görmüştür [8,9]. O'Regan ve Gratzel [10] Ru(II) metal kompleksi kullanarak düşük maliyetli, yüksek verimli, boyaya duyarlı bir güneş pili elde ettiler. Ftalosiyanın kompleksleri kullanılarak bir dizi güneş pili ve Schottky diyotu üretilmiştir [11,12]. Dayan ve ark. [13] güneş enerjisi ve optoelektronik uygulamalar için yeni sentezledikleri [Ru(L1)(L2)(NCS)2] kompleksi kullanılarak boyaya duyarlı güneş pili bazlı bir fotodiyot hazırladı. Elde ettikleri optoelektrik sonuçlar, [Ru(L1)(L2)(NCS)2] kompleksine sahip incelenen fotodiyotun optik anahtarlama ve kontrol uygulamaları için optoelektronik cihazlarda kullanılabilir olduğunu gösterdiler[13]. Ocak ve ark. [14] yeni, sentezlenmiş Mn heksaamid (MnHA) organometalik kompleksi ile Schottky diyotlarının oluşma olasılığını göstermiştir. Bu nedenle hem yeni organometalik komplekslerin sentezi hem de bunların cihazların imalatında kullanılması büyük ilgi görmektedir.

Tataroğlu ve ark. [15] damla döküm tekniğini kullanarak Au/Rutenyum(II) kompleksi/n-Si fotodiyotunu hazırladı. Fotodiyotun foto tepki ölçümlerinden sonra foto iletken ve foto kapasitans olarak kendini gösterdiğini bulmuşlardır. M.C Bodur ve ark. [40] spin kaplama yöntemi ile büyütülen Au/Karmin/n-Si/Ag diyotunun farklı ışık yoğunlukları altında fotovoltaiik ve fotodiyot karakteristiklerini belirlemiş ve bu diyotun $7,45 \times 10^{31}$ lük yüksek bir Açık/Kapalı akım (I_{on}/I_{off}) oranına sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Yapılan çalışmalar, inorganik bir yarıiletkenin bariyer yüksekliğinin, organik ince bir tabaka kullanılarak arttırılabileceğini veya azaltılabileceğini göstermiştir [16-19]. İnce organik ara yüzey katmanına sahip metal-yarıiletken (MS) cihazların elektriksel ve fotoelektrik özellikleri güneş hücreleri, fotodiyotlar ve Schottky diyotlar için incelenmiştir [20-23]. Güllü ve ark. bir Al/p-Si kontağından (0,50 eV) daha yüksek bir bariyer

yüksekliğine (0,77 eV) sahip bir Al/Orange G/p-Si cihazı üretti [24]. Temirci ve Çakar Cu/rodamin101/p-Si/Al diyot için bariyer yüksekliğini 0,78 eV ve idealite faktörünü 1,54 bulmuşlardır [25]. Bu bariyer yüksekliği ara katmansız Cu/p-Si kontağından daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Özaydın ve ark. [26] spin kaplama yoluyla n-Si levhalar üzerinde ince bir Cu(II) kompleksi tabakası oluşturarak bir Au/Cu(II) kompleksi/n-Si yapısı oluşturdu. Onlar [26] Au/Cu(II) kompleksi/n-Si Schottky diyotun elektriksel parametrelerini ileri yönlü akım-gerilim (I-V) ölçümlerini kullanarak araştırdılar ve parametreleri bir Au/n-Si diyotunkilerle karşı daha yüksek bulmuşlardır.

Bu çalışmada bir Ru(II) metal kompleks yapısı p-Si alttaşı üzerine spin kaplama yöntemi 3000 rpm ile ince film olarak büyütülerek 17 adet Al/Ru(II)/p-Si/Al yapısı elde edilmiştir. Yapının hem elektriksel hem de fotovoltaiik ve bazı fotodiyot karakteristikleri incelendi. Bunun için bu yapının karanlık ve 100 mW/cm^2 aydınlatma yoğunluğunda Akım-Gerilim (I-V) ölçümleri ve ayrıca karanlıkta bir noktanın Kapasite-Gerilim (C-V) ölçümleri alınmıştır.

Deneyel Prosedür

Al/Ru(II)/p-Si/Al yapısı, (100) yönelimli, $525 \mu\text{m}$ kalınlığında ve $1-10 \Omega \cdot \text{cm}$ aralığında öz dirence sahip p-tipi silisyum yarıiletkeni alttaş olarak kullanılarak üretildi. Kontak yapılmadan önce, p-Si alttaşların yüzeyindeki kirlerinden arındırmak için referansta belirtilen RCA temizleme prosedürü uygulanmıştır[34]. Daha sonra numuneler ve azot (N_2) gazı kullanılarak kurutulmuştur. Ultrasonik bir banyoda kontak metali (Al) aseton, etanol ve deiyonize su ($18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ direnç) ile temizlendi. Temizleme sonrasında Al metali, p-Si alttaşlarının mat tarafına 4×10^{-6} Torr basınçta buharlaştırıldı. P-Si alttaşların üzerinde düşük dirençli ohmik kontak sağlamak için N_2 ortamında $450 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 3 dakika ısıl işlemine tabi tutuldu. Sigma Aldrich firmasından alınan Rutenyum(II) metalik kompleksi kullanıldı. Ara katman için etanol kullanılarak Ru(II) (0,01 M) çözeltisi hazırlandı. Ru(II) metal kompleks doğrudan, p-Si substratının ön yüzeyine alkol içindeki 5 mL 0,001 M Ru(II) organometalik çözeltisinin dökülmesi ve ardından çözeltinin dakikada 3000 rpm'de, 30 saniye boyunca döndürülmesi ile oluşturuldu. Spin kaplama yönteminden sonra oda sıcaklığında 60 dakika boyunca kurutuldu. Son olarak Al metali, (diyot alanı $A = 7.85 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$) maske yardımıyla 4×10^{-6} Torr'da buharlaştırılarak elektriksel ölçümler yapıldı. Sonuç olarak, 17 noktalı (üst temas noktaları) (R1,R2...R17 olarak isimlendirilmiş) ve Al/Ru(II)/p-Si/Al diyotları. Ayrıca ışığın diyotların karakteristik parametreleri üzerindeki etkisini belirlemek için Keithley COINC-16S-150-002 Güneş Simülatörü kullanılarak akım-gerilim (I-V) ölçümleri alındı.

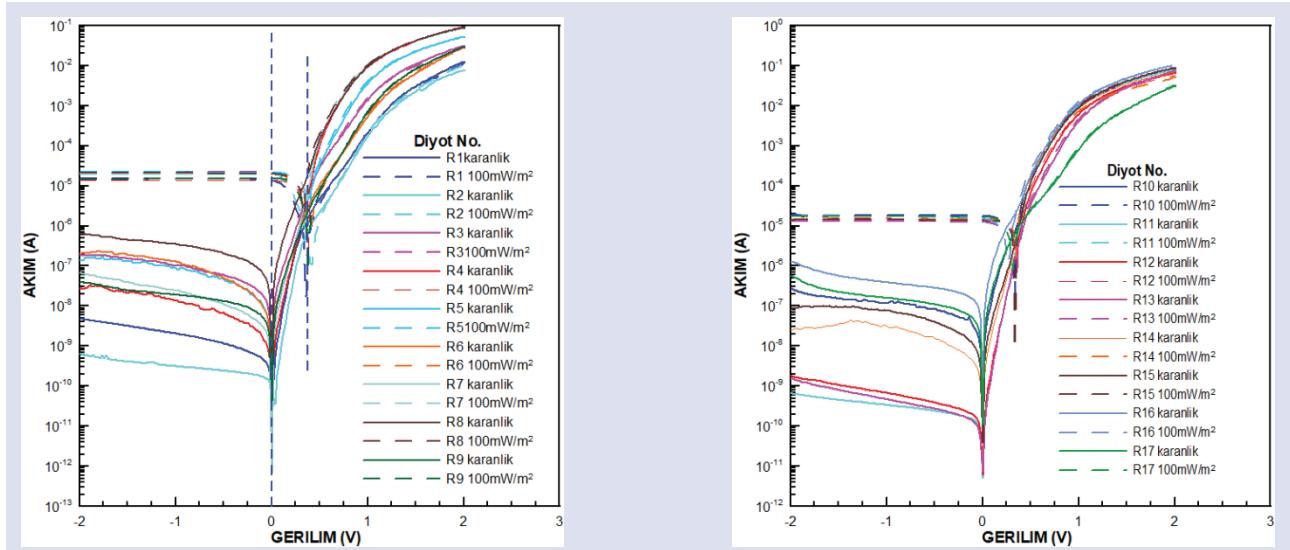
Oda sıcaklığında görünür ışık altında 2400 Kapasite-voltaj (C-V) ölçümleri, HP 4192A (50 Hz - 13 MHz) LF empedans analizörü ile oda sıcaklığında ve karanlıkta alındı.

Materyal Metot

Aynı *p*-Si alttaş üzerine 17 adet Al/*p*-Si/Ru(II)/Al noktası elektriksel performansın yinelenebilirliğini göstermek için oluşturuldu. Şekil 1(a) ve 1(b) karanlık ortamda ve 100mW/cm² ışık altında 17 adet Al/*p*-Si/Ru(II)/Al noktasının I-V grafiklerini göstermektedir. Sonuçlar 17 adet diyot noktasının karanlık ve aydınlatma altında aynı ve lineer olmayan ve asimetric I-V özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle ters beslem bölgesinde ışığa karşı duyarlılık görülmekte ancak doğru beslem bölgesinde ışık altında önemli bir değişiklik olmadığı gözlenmektedir. Bu durum Al/*p*-Si/Ru(II)/Al yapısının fotodiyot özelliğine sahip olduğunu

göstermektedir. Çizelge 1 de aynı alttaş üzerine oluşturulan 17 noktasının karanlık ortamda doğrultma oranı (RR) verilmiştir. RR diyotun kalitesini gösteren ve doğru beslem akımının (*I*_{forward}) ters beslem akımına (*I*_{reverse}) oranı kullanılarak belirlenir. (Şekil 1) 17 Al/*p*-Si/Ru(II)/Al noktasının -2 Volt ile +2 Volt arasında doğrultucu özellik göstermiştir. Bu değerler 100mW/cm² aydınlatma altında azaldığı görülmüştür.

Metal-yarıiletken doğrultucu kontaklarda baskın olan akım mekanizması Termioyonic Emisyonudur. Bu akım mekanizmasında ancak yüksek enerjili taşıyıcılar potansiyel engelinin üzerinden geçerek akım iletimini sağlar.



Resim 1. Al/Ru(II)/*p*-Si/Al yapısının tüm noktalarının I-V grafiği (a) 1'den 9'a (b) 10'dan 17'ye
Figure 1. I-V plot of all points of the Al/Ru(II)/*p*-Si/Al structure (a) from 1 to 9 (b) from 10 to 17

Al/Ru(II)/*p*-Si'nin I-V özelliklerini analiz etmek için termioyonic emisyon (TE) modeli seri direnç (*R*_s) etkisini de dikkate alarak şu şekilde ifade edilebilir [27]:

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT} - 1\right) \right] \quad (1)$$

Burada *n* idealite faktörüdür ve değeri ideal bir diyot için 1'dir. $V > 3kT/q$ için denklemden parantez içindeki 1 değeri ihmal edilebilir. İfade de *k*, Boltzmann sabitidir, *T*, Kelvin cinsinden ortam sıcaklığıdır ve *I*₀, doyma akımı değeridir.

Burada,

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{b0}}{kT}\right) \quad (2)$$

Şeklinde verilmiştir. *q* elektronik yük(=1,6x10⁻¹⁹ C), *V* uygulanan voltaj, *A* diyot alanı(=7,85x10⁻³ cm²), Φ_{b0} sıfır beslem görünür bariyer yüksekliği (BH), *A*^{*} *p*-tipi silisyum etkili Richardson sabiti olup 32 A cm⁻² K⁻² 'dir. Denklem (1) diyotların idealite faktörlerini belirlemek için kullanılır. Denklem (1) kullanarak aşağıdaki ifadeyi elde edebiliriz.

$$n = \frac{q}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (3)$$

Bu ifadede $dV/d(\ln I)$ teriminin değeri, $\ln I$ -*V* grafiğinin doğru beslem tarafındaki doğrusal kısmın eğiminden elde edilir (Şekil 1(a)(b)). Denklem (2) yeniden düzenlenirse bariyer yüksekliği için aşağıdaki ifade elde edilir:

$$q\Phi_{b0} = kT \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) \quad (4)$$

Çizelge 1'de hesaplanan, *n* ve Φ_b değerleri verilmektedir. Her ne kadar 17 adet Al/Ru(II)/*p*-Si/Al diyotu aynı alttaş üzerinde aynı şartlarda oluşturulmuş olsa da *n* ve Φ_b değerleri karanlıkta sırasıyla 1,238 ila 2,932 ve 0,643 ila 0,874 eV ve 100mW/cm² ışık altında ise 3,378 ila 5,649 ve 0,493 ila 0,616 eV arasında değişmektedir. Noktalar karanlıkta 10⁻⁸-10⁻¹⁰ A'lık düşük doyma akıma sahiptir. 17 nokta için *n* değeri karanlıkta ışık altındaki ölçümlere göre daha düşüktür ve ayrıca Φ_b değeri de karanlıkta daha yüksektir.

Çizelge 1 dikkate alındığında ortalama *n*/(Φ_b) değeri 1,950/(0,755 eV) karanlık ortamda ve 4,050/(0,542 eV) ise 100mW/cm² aydınlatma altında hesaplanmıştır. Karanlık ortamda diyot düşük idealite faktörü ve yüksek engel yüksekliği değerinden dolayı daha ideal diyot davranışı sergilemiştir. Çizelge 1'de verilen diyotlardan R12 kodlu diyotun karanlık ve ışık altındaki elektriksel karakterizasyonu ayrıntılı olarak incelendi ayrıca bu diyotun fotodiyot ve fotovoltaiik karakteristikleri de incelendi.

İdealite faktörünün birden yüksek olmasının nedenlerinden birisi de seri direnç etkisidir. Yüksek gerilimlerde ileri yönlü akım-gerilim eğrilerinin bükülmesi seri direnç etkisinden

kaynaklanmaktadır. Seri direnç hesaplamalarında kullanılan Norde yöntemi, metal ile yarıiletken arasındaki temasın ideal olduğunu varsaydığından ideal olmayan ($n>1$) durumlarda kontak parametrelerini bulmak için uygun değildir. Bu nedenle Bohlin [28] ideal olmayan durumlar için bu yöntemi değiştirmiştir. Bohlin'in genelleştirilmiş yöntemi, sabit sıcaklıkta alınan tek bir I-V ölçümünden Φ_b ve R_s değerlerinin hesaplanmasını mümkün kılar. Bu method; değiştirilmiş Norde fonksiyonunu şu şekilde tanımlar;

$$F(V; \alpha) = \frac{V}{\alpha} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad (5)$$

Burada α idealite faktörü n'den daha büyük keyfi bir sabittir. Şekil 2, R12 noktasının $F(V)$ -V grafiğini göstermektedir. Norde

fonksiyonu kullanılarak bariyer yüksekliği (Φ_b) ve seri direnç (R_s) sırasıyla denklem 6 ve 7'de verilmiştir.

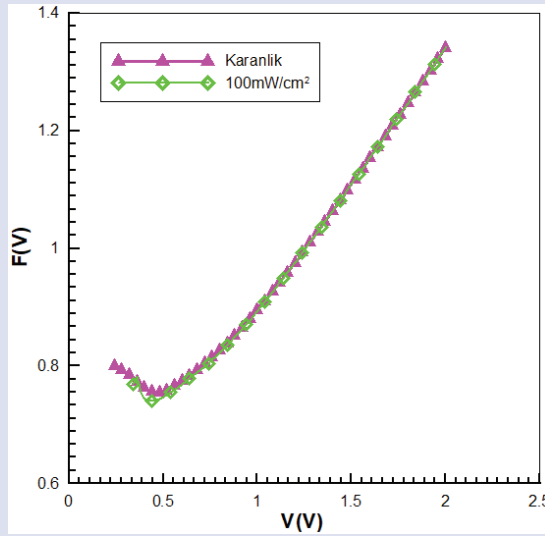
$$\Phi_b = F_{min}(V, \alpha) + \left(\frac{\alpha-n}{n} \right) \left(\frac{V_{min}}{\alpha} - \frac{kT}{q} \right) \quad (6)$$

$$R_s = \frac{kT(\alpha-n)}{qI_{min}} \quad (7)$$

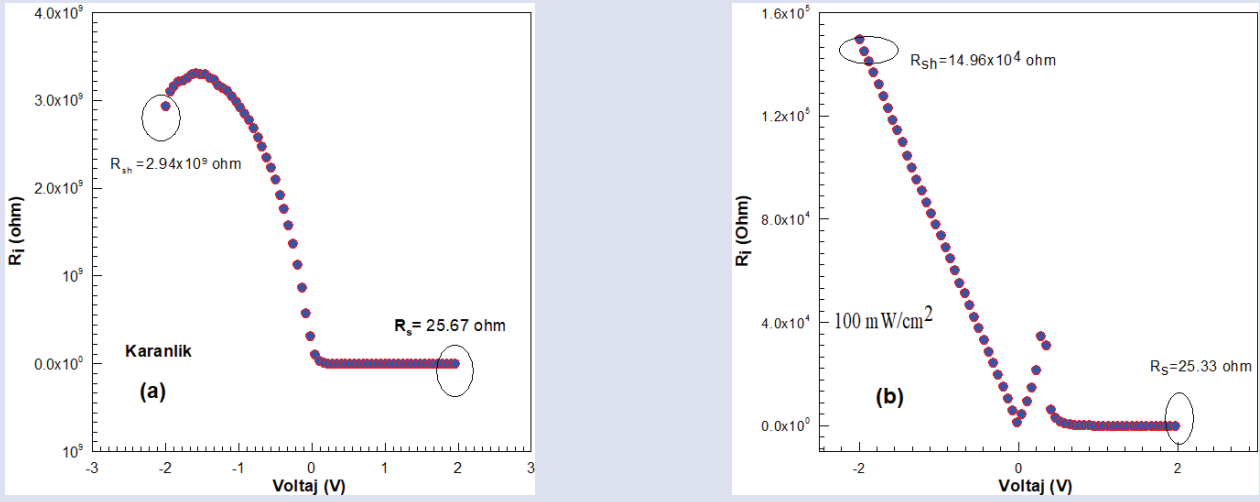
Çizelge 1'de 17 noktanın karanlık ve 100mW/cm² ışık altında Norde fonksiyonu ile hesaplanmış R_s ve Φ_b değerleri verilmektedir. Norde fonksiyonu ile elde edilen engel yüksekliği değerlerinin Termoiyonik Emisyon ile elde edilenler ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ortalama Φ_b değerlerinin karanlık ve ışık altında sırasıyla 0,769 eV ve 0,554 eV olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1. 17 adet Al/Ru(III)/p-Si/Al noktası için TE teorisi ve Norde fonksiyonları kullanılarak hesaplanan karakteristik parametreler
Table 1. Characteristic parameters calculated using TE theory and Norde functions for 17 Al/Ru(III)/p-Si/Al dots

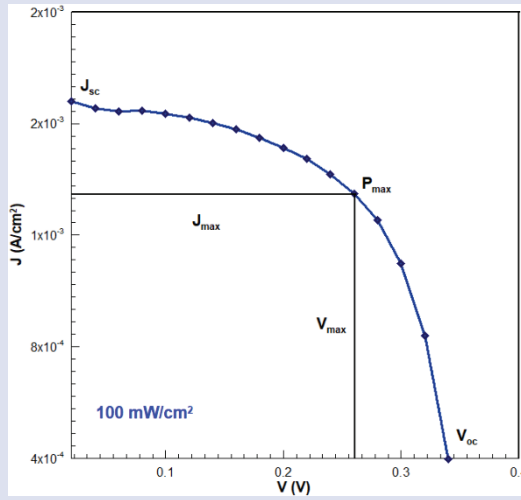
Diyot No	Termoiyonik Emisyon					Norde Fonksiyonu			
	Karanlık		100mW/cm ²			Karanlık		100mW/cm ²	
	RR(x10 ⁴) (±2V)	n	Φ_b (eV)	n	Φ_b (eV)	Φ_b (eV)	R_s (kΩ)	Φ_b (eV)	R_s (kΩ)
R1	262,98	1,364	0,826	4,926	0,601	0,834	54,12	0,612	21,76
R2	1170,02	1,238	0,874	4,032	0,616	0,880	97,26	0,623	24,71
R3	16,27	2,164	0,728	4,784	0,550	0,740	213,63	0,571	325,2
R4	340,90	1,590	0,789	3,816	0,506	0,797	0,199	0,525	0,371
R5	37,94	2,192	0,745	3,861	0,542	0,749	68,76	0,556	0,226
R6	14,29	2,032	0,744	4,131	0,580	0,756	823,76	0,589	9,885
R7	124,52	1,727	0,722	3,378	0,493	0,781	0,532	0,512	0,213
R8	13,82	2,380	0,679	4,255	0,503	0,702	52,76	0,527	0,316
R9	76,48	2,583	0,731	4,184	0,586	0,743	24,75	0,590	7,192
R10	5,70	2,532	0,684	5,649	0,560	0,699	24,78	0,572	1,493
R11	29,49	2,325	0,697	3,571	0,526	0,705	28,72	0,529	0,156
R12	11432,06	1,401	0,830	3,731	0,514	0,838	0,264	0,523	0,099
R13	3519,75	1,473	0,823	3,703	0,530	0,834	0,407	0,548	0,204
R14	4455,54	1,455	0,822	3,690	0,544	0,833	1,739	0,547	0,439
R15	282,41	1,792	0,763	3,891	0,516	0,775	0,111	0,520	0,057
R16	108,20	1,976	0,741	3,875	0,512	0,749	0,611	0,522	0,576
R17	7,75	2,932	0,643	3,389	0,541	0,664	1,157	0,552	0,371



Resim 2. R12 diyotunun karanlıkta ve 100mW/cm² altında $F(V)$ -V grafiği
Figure 2. $F(V)$ -V graph of R12 diode in the dark and under 100mW/cm²



Resim 3. R12 diyotunun karanlıkta ve 100mW/cm² altında F(V)-V grafiği
 Figure 3. F(V)-V graph of R12 diode in the dark and under 100mW/cm²



Resim 4. R12 Diyotunun 100mW/cm² ışık yoğunluğunda J-V eğrisi.
 Figure 4. J-V curve of Diode R12 at 100mW/cm² light intensity.

Ayrıca Al/Ru(II)/p-Si fotodiyotunun bir noktası olan R12'nin eklem direnci (R_i) hesaplanmıştır. Şönt direnci (R_{sh}) ve seri direnç (R_s) diyotun akım-gerilim karakteristiğini etkiler [29]. İdeal bir fotodiyot için şönt direncinin büyük, seri direncinin ise küçük olması gerekmektedir [30]. Fotodiyotun eklem direnci R_i ($R_i = dV/dI$) Şekil 3 (a) ve (b)'de görüldüğü gibi karanlık ve 100 mW/cm² aydınlatma koşulları için R_i -V grafiklerinden R_s ve R_{sh} değerleri elde edilmiştir. Şekil 3 (a) ve (b)'den görülebileceği gibi R_s ve R_{sh} arasında çok büyük bir fark vardır. Bu durum potansiyel uygulamalar için bu diyotun uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca aydınlatma altında R_s ve R_{sh} değerlerinin her ikisi de karanlıktaki değerlere göre daha düşük olduğu görülmektedir.

Al/Ru(II)/p-Si yapısının açık devre voltajı, kısa devre akımı, dolun faktörü ve güç dönüşüm verimliliği (η_p) gibi fotovoltaik parametreleri hesaplandı. Aydınlatma altındaki diyotun karakteristiğine göre, eğrinin gerilim ekseninde kesişme değerine açık devre gerilimi V_{oc} adı verilir ve akım sıfır olduğunda belirlenir. Kısa devre akımı (I_{sc}), aydınlatma altında çıkış akımıdır ve uygulanan gerilim ile direnç değerlerinin (R_s ve R_{sh}) sıfır olduğu andaki akımdır. Bu akım gelen foton sayısı ile orantılıdır. Açık

devre gerilimi ve kısa devre akımı sırasıyla en yüksek gerilim ve akım değerleridir. Şekil 4. R12 diyotunun 100mW/cm² aydınlatma altında akım yoğunluğun ($J=I/A$), gerilime (V) göre grafiğini vermektedir. Bu grafikte maksimum güç noktası (P_{max}), açık devre voltajı (V_{oc}), kısa devre akım yoğunluğu (J_{sc}) bulunmaktadır. Şekil 4 ve Çizelge 2'den R12 fotodiyotunun V_{oc} , I_{sc} ve maksimum güç noktası (MPPT) değerleri sırasıyla 339×10^{-3} V, $1,31 \times 10^{-2}$ mA ve $2,76$ mW/cm² olarak hesaplandı.

Diğer fotovoltaik parametreler doldurma faktörü (FF) ve güç dönüşüm verimliliği (η). FF ve η Şekil 4'de verilen J-V ölçümlerinden hesaplanabilir. FF şu şekilde yazılabilir [31]:

$$FF = \frac{J_m V_m}{J_{sc} V_{oc}} \quad (8)$$

Güç dönüşüm verimliliği η ise diyotun, ışık altında üretebileceği maksimum elektrik gücünün ışık gücüne oranıdır [32]:

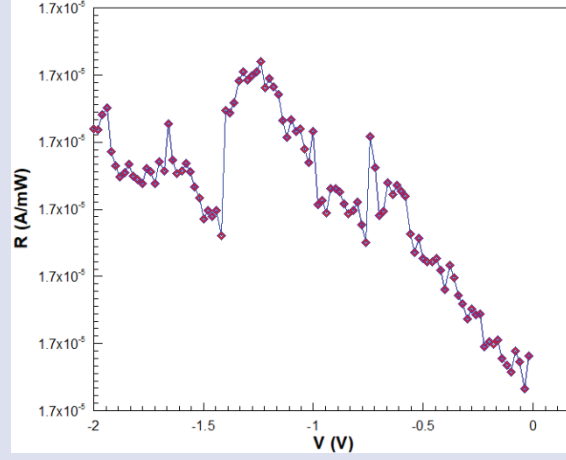
$$\eta = P_m / P_0 = \frac{J_m V_m}{P_0} \quad (9)$$

Burada P_0 ışık yoğunluğu olup bu çalışmada 100mW/cm² olarak kullanılmıştır.

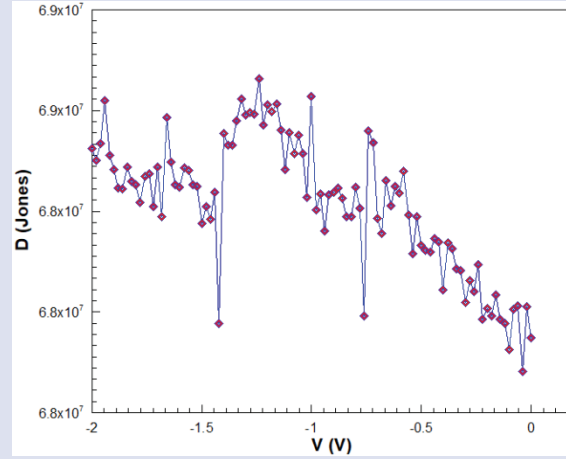
Çizelge 2. R12 diyotunun 100mW/cm² ışık altındaki fotovoltajik parametreleri.

Table 2. Photovoltaic parameters of R12 diode under 100mW/cm² light.

Diyot No.	V _{oc} (10 ⁻³)V	I _{sc} (10 ⁻⁶) A	J _{max} mA/cm ²	P _{max} mW/cm ²	FF %	η %
R12	339	13,1	1,351	2,76	62,19	0,514



Resim 5. R12 fotodiyotunun ters beslemde 100 mW/cm² aydınlatma altında R-V grafiği
Figure 5. R-V graph of photodiode in reverse power under 100 mW/cm² illumination



Resim 6. R12 fotodiyotunun ters beslemde 100 mW/cm² aydınlatma altında D*-V grafiği
Figure 6. D*-V graph of R12 photodiode under 100 mW/cm² illumination in reverse voltage

Fotodiyotların önemli parametrelerinden bazıları; foto duyarlılık (R) ve spesifik dedektivite (D*)'dir. İyi bir fotodiyot ve hassas optoelektronik cihazların aydınlatma altında büyük R değerlerine sahip olması gerekir. Foto duyarlılık (R) cihazın giriş-çıkış kazancını gösteren önemli bir parametredir [33] ve

$$R = I_{ph}/P_0.A \quad (10)$$

şeklinde ifade edilir.

Spesifik dedektivite (D*) ise,

$$D^* = R/(2.q.J_{karanlık})^{1/2} \quad (11)$$

olarak ifade edilir.

Burada I_{ph} fotoakım olup Amper cinsinden (I_{aydınlık}-I_{karanlık}) ifadesinden bulunur. P₀ uyarılan ışığın mW/cm² cinsinden alan başına gücüdür ve A ise diyotun ışığa maruz kalan alanıdır. Şekil 5. Ru(II) kompleks ara katmanlı R12

fotodiyotunun 100mW/cm² ışık altında ters beslem bölgesindeki foto duyarlılığını vermektedir. Foto duyarlılık ters beslem voltajının artması ile artmakta ve en yüksek değerine 1,24 V değerinde ulaşmış daha sonra bir miktar değişiklikten sonra -2 V gerilimde 1,70 x 10⁻⁵ A/mW değerini almaktadır.

Denklem (11)'de verilen spesifik dedektivite ifadesinin ters beslem gerilimine karşı grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Şekilde ters beslem geriliminin artmasıyla spesifik dedektivitenin arttığı ve -2 V'da 100mW/cm² ışık altında 1,02x10¹¹ Jones olduğu belirlenmiştir.

R12 noktasının çeşitli frekanslardaki kapasitans (C-V) grafikleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Düşük frekanslarda arayüzey durumları AC sinyali takip edebilir. Ancak yüksek frekansları takip etmesi imkansızdır (f≥1 MHz). C-V ölçüm yöntemi, bariyer yüksekliğini hesaplamak için kullanılan diğer

bir tekniktir. Ölçümler, frekans değeri arttıkça C değerinin azaldığını göstermektedir [35,36]. Ters beslem voltajı ve frekansı, R12 noktası için ölçülen C değerini etkilediği görülmektedir. Yüksek Rs, arayüzey durumları ve Al ile p-Si arasındaki Ru(II) metal kompleks ara tabakası ile tüketim bölgesindeki derin kusurlar, C değerinin voltaj ve frekans bağımlılıklarına neden olmaktadır [37].

Şekil 8, R12 noktasının ters kapasitans-gerilim (C^2 -V) grafiklerini 500 kHz'de, oda sıcaklığında ve karanlıkta göstermektedir. Bir metal/ yarıiletkeninin uzay yükü bölgesinin kapasitesi, arayüzey ile ilgili ayrıntıları içerir. Yarıiletkendeki taşıyıcı konsantrasyonunun hesaplanması, Fermi enerji seviyesi, difüzyon potansiyeli ve doğrultucu kontaktağının bariyer yüksekliğinin tümü ters beslem kapasite ölçümleri ile yapılabilir [38].

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2(V_d + V)}{A^2 \epsilon_s \epsilon_0 e N_a} \quad (12)$$

ϵ_s yarıiletken dielektrik sabitini belirtir (Si için, $\epsilon_s=11,8$), ϵ_0 boşluğun elektriksel geçirgenliğini tanımlar ($8,85 \times 10^{-14}$ F/cm) ve e elektronik yük ($1,6 \times 10^{-19}$ C), V_0 difüzyon potansiyelini, k

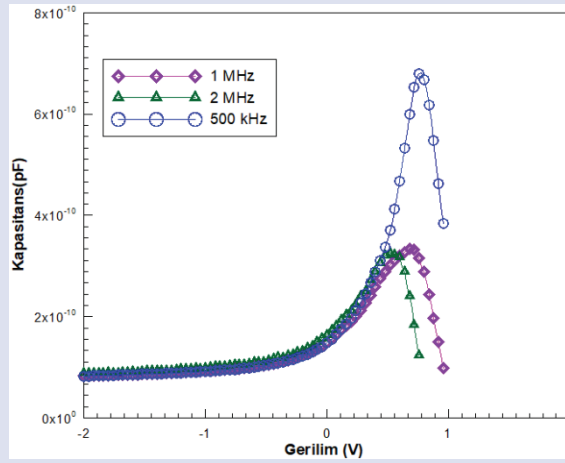
Boltzmann sabitini, N_a ise iyonize akseptör konsantrasyonunu, T Kelvin (K) cinsinden ortam sıcaklığını tanımlar ve A diyotun etkin alanını belirtir. Şekil 8'deki C^2 -V grafiği lineer bölgenin V eksenine göre ekstrapolasyonu ile belirlenen difüzyon potansiyelini temsil eder. Ayrıca, N_a 'yi hesaplamak için de bu lineer bölgenin eğimi kullanılır. C^2 -V eğrileri kullanılarak Φ_b değerleri Denklem (13) ile belirlenmiştir.

$$\Phi_{bo} = \frac{V_d}{n} + V_p \quad (13)$$

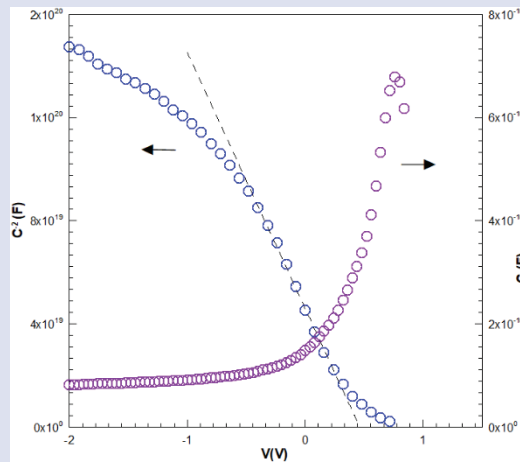
Burada V_p , değerlik bandının tepesi ile p-tipi Silisyumun nötr kısmının Fermi seviyesi arasındaki farktır ve şu şekilde ifade edilmiştir:

$$V_p = \frac{kT}{e} \ln \frac{N_v}{N_a} \quad (14)$$

Burada N_v , silisyumun değerlik bandının etkin durum yoğunluğunu temsil etmek için kullanılır ve değeri $1,04 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ olarak kullanılmıştır.



Resim 7. R12 diyotunun oda sıcaklığında farklı frekanslardaki C-V eğrileri.
Figure 7. C-V curves of R12 diode at different frequencies at room temperature.



Resim 8. R12 noktası için 500 kHz'de C-V ve ters beslem C^2 -V grafiği.
Figure 8. C-V and reverse bias C^2 -V plot at 500 kHz for point R12.

Çizelge 3. R12 noktası için C^2 -V grafiklerinden hesaplanan V_d , E_f , Φ_b ve N_a değerleri.

Table 3 V_d , E_f , Φ_b and N_a values calculated from C -2- V graphs for point R12.

f (kHz)	V_d (eV)	E_f (eV)	Φ_b (eV)	N_a (cm ⁻³)
500	0,465	0,342	0,807	1,538x10 ¹³
1000	0,487	0,341	0,828	1,614x10 ¹³
2000	0,473	0,337	0,810	1,869x10 ¹³

Çizelge 3; 500kHz, 1MHz ve 2MHz frekanslardaki C -2- V grafiğinden elde edilen parametreleri vermektedir. Bu parametrelerden Fermi enerji seviyesi (E_f) artan frekansla azaldığı ve N_a 'nın ise artan frekansla arttığı görülmektedir. Engel yüksekliği ise en yüksek değerine 1MHz frekans değerinde ulaştığı görülmüştür. R12 için 500 kHz'de Φ_b değeri 0,807 eV bulunurken, bu değer 2000 rpm ile döndürülerek kaplanan Al/Ru(II)kompleks/ p -Si için 0,816 eV hesaplanmış[39] ve yine aynı yapı için 500 rpm ile döndürülerek kaplanan Ru(II) kompleks yapısının ara katman olarak kullanıldığı Al/Ru(II)/ p -Si diyotu için ise 0,84 eV olarak hesaplanmıştır[34].

Sonuç

Bu çalışmada, spin kaplama yöntemi ile Ru(II) metal kompleks ince filmi p -Si alttaşı üzerine büyütüldü ve Al/(Ru(II) kompleks/ p -Si/Al yapısı elde edildi. 17 adet Al/Ru(II)/ p -Si/Al noktası için ortalama $n/(\Phi_b)$ değeri 1,950/(0,755 eV) karanlık ortamda ve 4,050/(0,542 eV) ise 100mW/cm² aydınlatma altında hesaplanmıştır. 17 nokta için n değeri karanlıkta ışık altındaki ölçümlere göre daha düşüktür ve ayrıca Φ_b değeri de karanlıkta daha yüksek çıkmıştır. Tüm noktaların Norde fonksiyonuna göre seri direnç değerleri de hesaplanmış ve R12 noktasının seri direnç değeri karanlık ve ışık altında sırasıyla 264 Ω ve 99 Ω olarak bulunmuştur. R12'nin eklem direnci (R_i) hesaplanmış, karanlık ve 100 mW/cm² aydınlatma için R_s ve R_{sh} değerleri elde edilmiştir ve Norde fonksiyonu ile elde edilen seri direncin ohm yasası ile elde edilenden daha büyük çıktığı görülmüştür. Üretilen Al/Ru(II)kompleks/ p -Si diyotun R12 noktası için fotovoltaiik özellikleri 100 mW/cm² ışık yoğunlukları için araştırıldı. Açık devre voltajı (V_{oc}), 339x10⁻³ V, kısa devre akımı (I_{sc}), 13,1x10⁻⁶ A, doldurma faktörü (FF), %62,19 ve deneysel verimlilik (η) ise %0,514 olarak bulunmuş ayrıca fotodiyot parametrelerinden olan R (A/W) ve D^* (Jones) değerleri -2 V için hesaplanmış ve oluşturduğumuz diyotun optoelektronik ve fotosensör uygulamalarında kullanım için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

[1] J.K. Nagle, J.S. Bernstein, R.C. Young, T.J. Meyer, Charge-transfer excited states as molecular photodiodes, *Inorg. Chem.* 20 (1981) 1760–1764.
[2] A.E. Cenicerós-Gomez, A. Ramos-Organillo, J. Hernandez-Diaz, J. Nieto—Martinez, R. Contreras, S.E. Castillo-Blum, NMR study of the coordinating behavior of 2,6-bis(benzimidazol-2-yl)pyridine, *Heteroat. Chem.* 11 (2000) 392–398.
[3] A. Tataroglu, O. Dayan, N. Ozdemir, Z. Serbetci, A.A. Al-Ghamdie, A. Dere, F. El-Tantawy, F. Yakuphanoglu, Single crystal ruthenium (II) complex dye based photodiode, *Dyes Pigm.* 132 (2016) 64–71.

[4] A.O. Adeloye, P.A. Ajibade, Towards the development of functionalized polypyridine ligands for Ru(II) complexes as photosensitizers in dye-sensitized solar cells (DSSCs), *Molecules* 19 (2014) 12421–12460
[5]. J.J. Concepcion, J.W. Jurss, M.K. Brennaman, P.G. Hoertz, A.O.T. Patrocinio, N.Y. Murakami Iha, J.L. Templeton, T.J. Meyer, *Acc. Chem. Res.* 42 (2009) 1954–1965.
[6]. P.D. Beer, J. Cadman, *Coord. Chem. Rev.* 205 (2000) 131–155.
[7]. R. Argazzi, N.Y. Murakami Iha, H. Zabri, F. Odobel, C.A. Bignozzi, *Coord. Chem. Rev.* 248 (2004) 1299–1316.
[8]. M. Kapilashrami, Y. Zhang, Y.-S. Liu, A. Hagfeldt, J. Guo, *Chem. Rev.* 114 (2014) 9662–9707.
[9]. A. Fakharuddin, R. Jose, T.M. Brown, F. Fabregat-Santiago, J. Bisquert, *Energy Environ. Sci.* 7 (2014) 3952–3981.
[10]. B. O'Regan, M. Gratzel, *Nature* 353 (1991) 737.
[11]. R.Koeppe, N.S.Sariciftci, P.A.Troshin, R.N.L.Yubovskaya, *Applied Physics Letters* 87 (2005) 244102.
[12]. F.Yakuphanoglu, *Solar Energy Materials&SolarCells* 91 (2007) 1182.
[13] Dayan, Osman, et al. "Dye sensitized solar cell-based optoelectronic device using novel [Ru (L1)(L2)(NCS) 2] complex." *Journal of Molecular Structure* 1238 (2021): 130464.
[14]. Y.S. Ocak, M. A. Ebeoglu, G.Topal, T.Kilicoglu, *Physica B* 405 (2010) 2329-2333.
[15]. A. Tataroglu, O. Dayan, N. Ozdemir, Z. Serbetci, Ahmed A. Al-Ghamdi, A. Dere, Farid ElTantawy, F. Yakuphanoglu, *Dyes and Pigments* 132 (201) 148.
[16]. I.H. Campbell, S. Rubin, T.A. Zawodzinski, J.D.Kress, R.L. Martin, D. L. Smith, *Phys. Rev. B* 54 (1996) 14321.
[17]. Ö. Vural, N.Yıldırım, S.Altındal, A.Türüt, *Synth. Met* 157 (2007) 679.
[18]. M. Soylu, *Mater. Sci. Semicond. Process.* 14 (2011) 212.
[19]. Ö. Güllü, Ö. Baris, M. Biber, A.Türüt, *Appl. Surf. Sci.* 254 (2008) 3039.
[20]. A.B.P. Lever, M.R. Hempstead, C.C. Leznoff, W. Lin, M. Melnik, W. A. Nevin, P. Seymour, *Pure Appl. Chem.* 58 (1986) 1467.
[21]. J. Simon, J.J. Andre, *Molecular Semiconductors*, Springer, Berlin, 1985.
[22]. Y. Sadaoka, T.A. Jones, W.Gopel, *Sensors Actuators B* 1 (1990) 148.
[23]. P.F. Baude, D.A. Ender, M.A. Haase, *Appl. Phys. Lett.* 82 (2003) 3964.
[24]. Ö. Güllü, Ş. Aydoğan, A.Türüt, *Microelectron. Eng.* 85 (2008) 1647.
[25]. C. Temirci, M. Çakar, *Physica B* 348 (2004) 454.
[26]. C. Özaydın, K. Akkılıç, S. İlhan, Ş. Ruzgar, Ö. Güllü, H. Temel, *Materials Science in Semiconductor Processing* 16 (2013) 1125–1130
[27]. E. H. Rhoderick, R. H. Williams, *Metal-Semiconductor Contacts*, 2nd ed. Clarendon, Oxford, 1988
[28] Bohlin, K. E. (1986). Generalized Norde plot including determination of the ideality factor. *Journal of Applied Physics*, 60(3), 1223-1224.
[29]. B. Sahin, H. Cetin, E. Ayyıldız, *Solid State Commun* 135(2005) 490-495. [38]. S.M. Sze, *Physics of Semiconductor Devices*, (2nded) Wileyand NY,1981.
[30]. S.M. Sze, *Physics of Semiconductor Devices*, (2nded) Wileyand NY,1981

- [31]. J.P.P.R. Barry, J. Genoe, P. Heremans, *Progr. Photovol. Res. Appl.* 15 (2007) 659–676. [32]. B. Wang, H. Ding, Y. Hu, H. Zhou, S. Wang, T. Wang, et al., *Int. J. Hydrogen Energy* 38 (2013) 16733-16739
- [33] G. Luongo, F. Giubileo, L. Genovese, L. Lemmo, N. Martucciello, A. Di Bartolomeo, I-V and C-V characterization of a high-responsivity graphene/silicon photodiode with embedded MOS capacitor, *Nanomaterials* 7 (2017) 158, <https://doi.org/10.3390/nano7070158>.
- [34] Doğan, H., İkrâm, O., & Yıldırım, N. (2017). Photovoltaic and electrical properties of Al/Ruthenium (II)-complex/p-Si photodiode. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 38(2), 329-341.
- [35] G. Luongo, F. Giubileo, L. Genovese, L. Lemmo, N. Martucciello, A. Di Bartolomeo, I-V and C-V Characterization of a High-Responsivity Graphene/Silicon Photodiode with Embedded MOS Capacitor, *Nanomaterials* 7 (7) (Jun. 2017) 158, <https://doi.org/10.3390/nano7070158>.
- [36] A. Di Bartolomeo, G. Luongo, F. Giubileo, N. Funicello, G. Niu, T. Schroeder, M. Lisker and G. Lupina, Hybrid graphene/silicon Schottky photodiode with intrinsic gating effect, *2D Mater.* 4 (2) (2017) 025075, doi:10.1088/2053-1583/aa6aa0.
- [37] E.H. Nicollian, J.R. Brews, *Metal Oxide Semiconductor Physics and Technology*, John Wiley Sons, 1982.
- [38] Wilmsen, C. W., 1985. *Physics and Chemistry of III-V Compound Semiconductor Interfaces*. Plenum Press, New York.
- [39] Doğan, H. (2023). Al/Organometalik Kompleks/p-Si Yapısının Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 64-73.
- [40]. Bodur, M. C., Duman, S., Orak, I., Saritas, S., & Baris, O. (2023). The photovoltaic and photodiode properties of Au/Carmine/n-Si/Ag diode. *Optics & Laser Technology*, 162, 109251.



Deep Learning based Image Recognition for Separation of Recycling Waste

Mehmet Bahadır Çetinkaya^{1,a,*}, Nihat Akdamar^{1,b}, Meriç Anıl Alkan^{1,c}, Hazal Bölükbaşı^{2,d}

¹University of Erciyes, Faculty of Engineering, Department of Mechatronics Engineering, 38039, Kayseri, Turkey

²University of Biruni, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Computer Engineering, 34015, Istanbul, Turkey

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 03/05/2024

Accepted: 10/05/2024

ABSTRACT

Recycling waste sorting with high accuracy has become a significant area of research in recent years due to its direct effect on environment and economy. Computer-aided approaches are able to provide effective performances in recycling processes which consist of big data sizes. In this work, a deep learning (DL) based image analysis approach has been improved by using Python programming language and the YOLOv8x DL algorithm to optimize the recycling processes. From the simulation results, it can be concluded that DL-based approaches are able to provide high accuracy in image recognition and can successfully be used in processing of big data sets.

Keywords: Deep learning, Image recognition, Recycling waste sorting, YOLOv8x

Geri Dönüşüm Atıklarının Ayırıştırılması için Derin Öğrenme Tabanlı Görüntü Tanıma

Öz

Geri dönüşüm atıklarının yüksek doğrulukla ayırıştırılması, çevreye ve ekonomiye doğrudan etkisi nedeniyle son yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Büyük veri boyutlarından oluşan geri dönüşüm süreçlerinde bilgisayar destekli yaklaşımlar etkin performanslar sağlayabilmektedir. Bu çalışmada, geri dönüşüm süreçlerini optimize etmek için Python programlama dili ve YOLOv8x DL algoritması kullanılarak derin öğrenme (DL) tabanlı bir görüntü analizi yaklaşımı geliştirilmiştir. Benzetim sonuçlarından, DL tabanlı yaklaşımların görüntü tanıma yüksek doğruluk sağlayabildiği ve büyük veri setlerinin işlenmesinde başarıyla kullanılabileceği sonucuna varılabilir.

Anahtar Kelimeler: Derin öğrenme, Görüntü tanıma, Geri dönüşüm atıklarının ayırıştırılması, YOLOv8x

Copyright



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

^a cetinkaya@erciyes.edu.tr

^c meric.anil.alkan@gmail.com

^{ID} 0000-0003-3378-4561

^{ID} 0009-0006-5471-3534

^b akdamarnihat@gmail.com

^d hazalbolukbasi@icloud.com

^{ID} 0009-0001-0077-5215

^{ID} 0009-0006-0604-8947

How to Cite: Çetinkaya MB, Akdamar N, Alkan MA, Bölükbaşı H (2024) Deep Learning based Image Recognition for Separation of Recycling Waste, Journal of Engineering Faculty, 2(1): 25-28.

Introduction

Reducing environmental pollution and dependence on virgin raw materials through recycling is crucial in terms of sustainable development. In addition, distinguishing waste materials with high accuracy contributes to resource conservation and addressing significant environmental issues. In recent years, recycling processes with higher accuracy and higher speeds have emerged with the integration of artificial intelligence based image processing approaches.

In literature, there are several works related to DL-based image recognition. In [1], Haque and Neubert presented a detailed review work analyzing the deep learning based medical imaging applications. Kodipalli et al. improved a custom deep learning architecture for the classification of ovarian tumours into the two categories of benign and malignant [2]. In work [3], a Convolutional Neural Network (CNN) algorithm was improved by Momeny et al. in order to detect the appearance of cherries and provide an efficient system for their grading. Zekiwoş and Bruck, in their work [4], focused to improve a model to boost the detection of cotton leaf disease and pests using the deep learning technique. In another similar work, Huixian proposed a deep learning based

approach to extract plant leaf features and identify plant species based on image analysis [5]. A detailed performance comparison was realized between the traditional machine learning algorithms and deep learning approach in the classification of high dimensional images by Wang et al. in [6]. Finally, Shen et al. proposed a modified YOLOv8 model which is able to detect multi-scale occluded and small objects with high accuracy [7].

In this work, detailed analysis have been carried to improve a DL-based artificial intelligence approach for waste sorting process.

Materials and Methods

In the first step, a dataset containing 4470 images has been created by using real waste images taken from recycling facilities. 25% of the image dataset have been obtained by using a camera having 12-megapixel contrast and Ultra-Wide-Angle lens with an aperture of f/1.8 and then remaining 75% have been taken from the Roboflow platform. The image dataset consists of four image groups as glass, metal, paper and plastic. In addition, each image within the dataset has the resolution of 640x640. Figure 1 shows the distribution of each image group in the dataset.

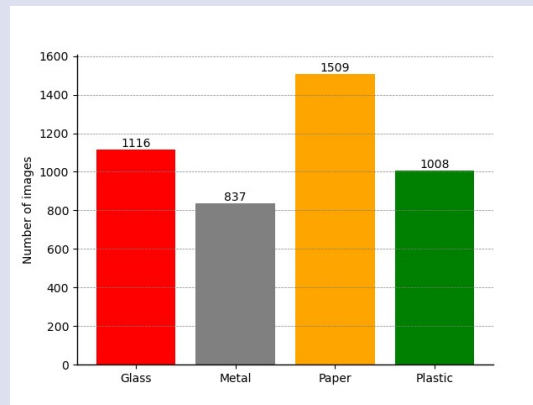


Figure 1. Distribution of each image group in the entire dataset.

Figure 2 represents the sample images taken from the glass, metal, paper and plastic groups.



Figure 2. Sample images for the groups of glass, metal, paper and plastic.

The labeling of the image dataset has been performed via Roboflow platform due to its higher performance in inspection and recognition of waste images. In the labelling process, randomly selected 1983 images of the entire dataset have been labelled. The training phase has been realized by using 3129 images which corresponds to 70% of the entire data set and containing 1.281.638.400 pixels.

The simulations in the training phase have been carried out for 100 epochs to enhance the recognition ability of the YOLOv8x model. As an optimization algorithm, the Adam Optimization approach [8] which provides adaptive learning rates and takes into account both first moment estimates (average) and second moment estimates (variance) has been preferred. The expressions of the average and variance metrics can be given as in Equations 1 and 2, respectively.

$$m_t = \beta_1 m_{t-1} + (1 - \beta_1) g_t \quad (1)$$

$$v_t = \beta_2 v_{t-1} + (1 - \beta_2) g_t^2 \quad (2)$$

where; g_t defines the gradient value at time t , β_1 and β_2 are the control parameters used to optimize the moment estimation process and, finally, α represents the learning rate. As a result of the optimization process the bias corrected versions \hat{m}_t and \hat{v}_t can be defined as given in the Equations 3 and 4, respectively. Here, \hat{m}_t defines the exponentially decaying average of the gradients while \hat{v}_t defines the exponentially decaying average of the squared gradients.

$$\hat{m}_t = \frac{m_t}{1 - \beta_1^t} \quad (3)$$

$$\hat{v}_t = \frac{v_t}{1 - \beta_2^t} \quad (4)$$

Furthermore, the updated parameter values can be obtained by using Equation 5.

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \frac{\alpha}{\sqrt{\hat{v}_t + \epsilon}} \hat{m}_t \quad (5)$$

where; α can be determined as the learning rate and ϵ is a constant that takes small values to prevent division by zero.

In the simulations, the value of the control parameters have been taken as; $\beta_1 = 0.9$, $\beta_2 = 0.999$, $\alpha = 0.001$ and $\epsilon = e^{-9}$ in line with the literature.

Adam Optimization is recognized with its ability to adapt to various types of datasets and complex model structures while training DL models. It also provides effective performances in terms of the convergence rate and training efficiency.

Simulation results

DL-based analysis have been performed for the YOLO network architecture which is one of the most novel and effective deep learning algorithms. When the performance analysis results given in Table 1 examined, it is seen that YOLOv8x produces the best results. The YOLOv8x model is a Convolutional Neural Network (CNN) based deep learning architecture used for image recognition. The model has been trained on the Google Colab platform which provides a cloud-based computing environment. Google Colab platform has also an NVIDIA A100 GPU which is a highly advanced graphics processing unit and optimizes the entire process.

As a result of the simulations, the accuracy of the YOLOv8x model has been obtained as 98.72% on the recycling waste classification. The accuracy rate obtained proves the success of the improved model in image recognition. On the other hand, Figure 3 demonstrates the sample training results obtained for each of the four material classes.

Table 1. Performance Benchmark results obtained for YOLO network architectures.

YOLO Model	Size (pixels)	mAP ^{val} 50-95	Speed CPU ONNX (ms)	Speed A100 TensorRT (ms)	Params (M)	FLOPs (B)
v8n	640	37.3	80.4	0.99	3.2	8.7
v8s	640	44.9	128.4	1.2	11.2	28.6
v8m	640	50.2	234.7	1.83	25.9	78.9
v8l	640	52.9	375.2	2.39	43.7	165.2
v8x	640	53.9	479.1	3.53	68.2	257.8

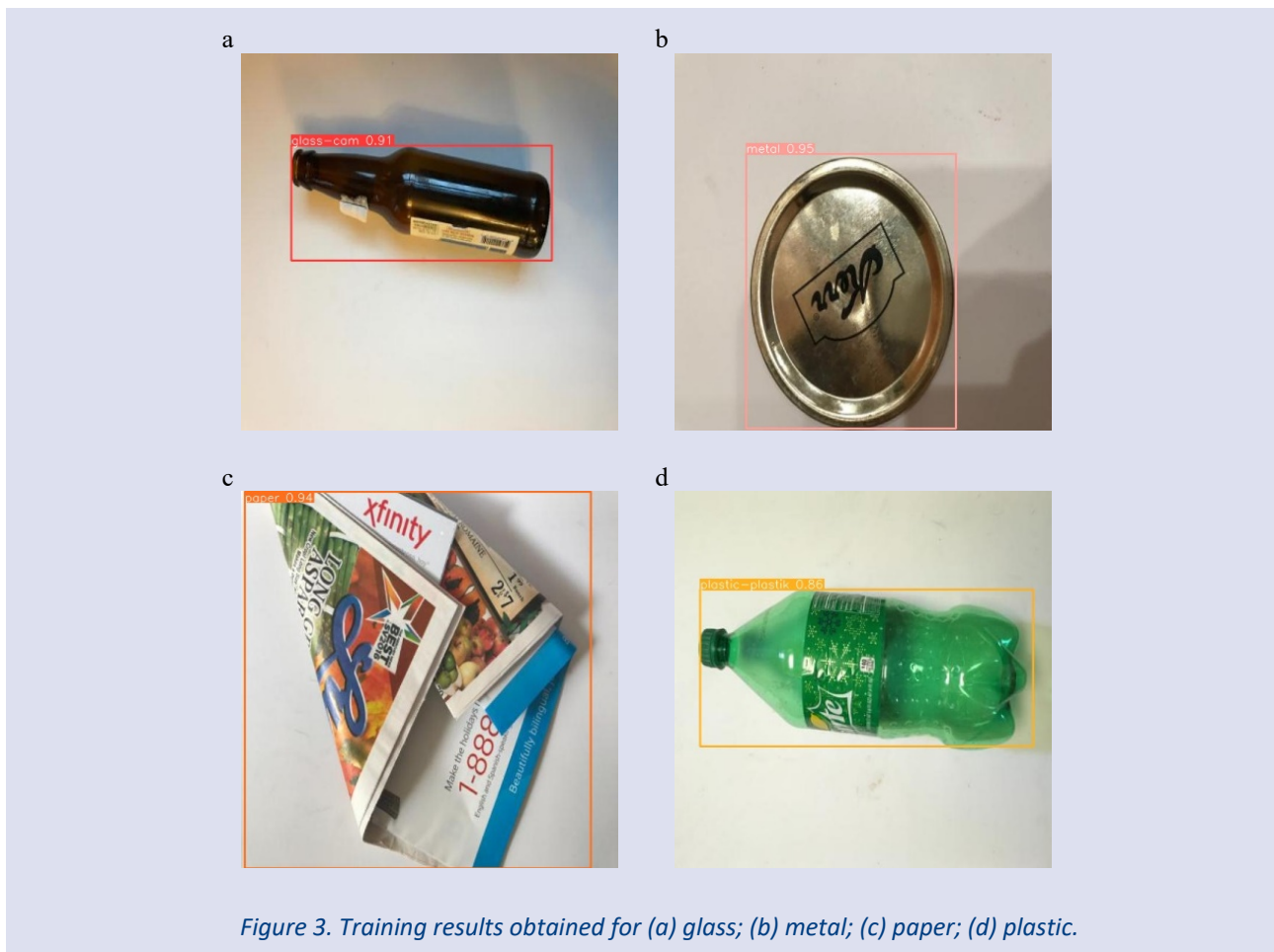


Figure 3. Training results obtained for (a) glass; (b) metal; (c) paper; (d) plastic.

Conclusion

In this work, a DL-based image recognition approach has been improved for the aim of sorting the waste materials with high accuracy. As a result of the performance benchmarks performed, it has been observed that YOLOv8x network architecture produces better results when compared to YOLOv8n, YOLOv8s, YOLOv8m and YOLOv8l architectures. When the simulation results obtained for different material groups evaluated, it has been observed that DL-based approaches having YOLOv8x network architecture are able to perform image recognition with high accuracy. Consequently, it can be expressed that deep learning based approaches can successfully be used in recognition of waste materials.

Acknowledgements

This work has been supported by Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under TUBITAK-2209 A Program (Application number: 1919B012200459).

References

- [1] Haque IR, Neubert J. Deep learning approaches to biomedical image segmentation. *Inform in Medic Unlocked* 2020; **18**:1-12.
- [2] Kodipalli A, Guha S, Dasar S, İsmail T. An inception-ResNet deep learning approach to classify tumours in the ovary as benign and malignant. *Expert Syst* 2022; **e13215**:1-11.
- [3] Momeny M, Jahanbakhshi A, Jafarnejhad K, Zhang YD. Accurate classification of cherry fruit using deep CNN based on hybrid pooling approach. *Postharvest Biology Tech* 2020; **166**: 1-9.
- [4] Zekiwoş M, Bruck A. Deep learning-based image processing for cotton leaf disease and pest diagnosis. *J Elect Comp Eng* 2021; **2021**:1-10,
- [5] Huixian J. The analysis of plants image recognition based on deep learning and artificial neural network. *IEEE Access* 2020; **8**:68828-68841.
- [6] Wang P, Fan E, Wang P. Comparative analysis of image classification algorithms based on traditional machine learning and deep learning. *Pattern Recog Letters* 2021; **141**:61-67.
- [7] Shen L, Lang B, Song Z. DS-YOLOv8-based object detection method for remote sensing images. *IEEE Access* 2023; **11**:125122-125137.
- [8] Kingma DP, Ba J. Adam: A method for stochastic optimization. *In Proceedings of 3rd International Conference for Learning Representations*, 2015, pp. 1-9.



Preparation of Forest Fire Risk Maps in Geographical Information Systems Environment

İzzet Ersoy^{1,a,*}, Önder Gürsoy^{1,b}, Emre Ünsal^{2,c}

¹Department of Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, 58140, Türkiye

²Department of Software Engineering, Faculty of Technology, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, 58140, Türkiye

*Corresponding author

Research Article

ABSTRACT

Forest fires are major material and ecological disasters. These fires cause serious damage to ecosystems, resulting in loss of plant and animal species, damage to habitats and reduction of biodiversity. They also have a number of negative effects such as air pollution, soil erosion and pollution of water resources. Every year, thousands of hectares of forest areas are destroyed due to fires around the world and in our country. In 2021, a total of 139,503 hectares in Turkey and 2,873,268 hectares worldwide were damaged by fires, which is approximately equivalent to the area of Sivas province. Forest fires can occur for many reasons, these are categorized as natural causes, negligence, accident, intention and unknown causes. In order to prevent these fires, an information system has been created in Geographic Information Systems (GIS) environment. This system brought together 5 different criteria of the study area, namely land cover, slope, aspect, distance to roads and distance to settlements, and integrated them with the information system. In line with the weights determined as a result of the literature review, 5 risk classes from very high risk to very low risk were determined for the study area. When compared with past fire data; very high risk is 22%, high risk is 31%, normal risk is 25%, low risk is 14% and very low risk is 8%. The developed information system and model has become an information system for the protection of our forest areas.

History

Received: 06/05/2024

Accepted: 11/06/2024

Keywords: Forest fire; Fire risk analysis; Geographic information systems

Orman Yangını Risk Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Ortamında Hazırlanması

Öz

Orman yangınları, maddi ve ekolojik olarak büyük afetlerdir. Bu yangınlar, ekosistemlerde ciddi hasara yol açarak bitki ve hayvan türlerinin kaybına, yaşam alanlarının zarar görmesine ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca, hava kirliliği, toprak erozyonu ve su kaynaklarının kirlenmesi gibi bir dizi olumsuz etkiye sahiptir. Her yıl dünya genelinde ve ülkemizde binlerce hektar ormanlık alan yangınlar nedeniyle yok olmaktadır. 2021 yılında Türkiye'de toplam 139.503 hektar, dünya genelinde ise toplam 2.873.268 hektar alan yangınlarla zarar görmüştür, bu da yaklaşık olarak Sivas ilinin yüzölçümüne eşdeğerdir. Orman yangınları birçok nedenle ortaya çıkabilir, bunlar doğal sebepler, ihmal, kaza, kasit ve bilinmeyen sebepler olarak sınıflandırılır. Bu yangınları önlemek amacıyla coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ortamında bir bilgi sistemi oluşturulmuştur. Kurulan bu sistem, çalışma sahasına ait arazi örtüsü, eğim, baki, yollara uzaklık ve yerleşim yerlerine uzaklık olmak üzere toplam 5 farklı kriteri bir araya getirmiş ve bilgi sistemiyle bütünleştirilmiştir. Literatür taraması sonucunda belirlenen ağırlıklar doğrultusunda çalışma bölgesine ait çok yüksek riskten, çok düşük riske doğru 5 risk sınıfı belirlenmiştir. Geçmiş yangın verileriyle kıyaslandığında; çok yüksek riskin %22, yüksek riskin %31, normal riskin %25, düşük riskin %14 ve çok düşük riskin %8 olduğu belirlenmiştir. Geliştirilen bilgi sistemi ve model, orman alanlarımızın korunmasına yönelik bir bilgi sistemi olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Orman yangını; Yangın risk analizi; Coğrafi bilgi sistemleri

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

^a ersoy.izzet@hotmail.com

^c eunsal@cumhuriyet.edu.tr

^{ib} 0000-0003-2492-4163

^{ib} 0000-0001-6042-0742

^b ogursoy@cumhuriyet.edu.tr

^{ib} 0000-0002-1531-135X

How to Cite: Ersoy İ, Gürsoy Ö, Ünsal E. (2024) Preparation of Forest Fire Risk Maps in Geographical Information Systems Environment, Journal of Engineering Faculty, 2(1): 29-34.

Giriş

İnsanlar ve diğer canlıların yanı sıra çevresel faydaları da göz ardı edilemeyecek kadar büyük olan ormanlar; su ve çevre yönetiminin düzenlenmesinde, iklimsel bozulmasının engellenmesinde, toprakların sağlığı ve korunmasında, biyoçeşitliliğin muhafazasında, hava kirliliğinin önlenmesinde ve hatta rekreasyon faaliyetleri ile insanların ruhsal sağlığı açısından oldukça büyük bir öneme sahiptir [1,2].

Aynı zamanda tüm dünyada ekosistemlerin sağlıklı bir şekilde devamı ve doğal dengenin korunması için kritik bir rol oynar. Bu nedenle ormanların ve ormanlık alanların artırılması, korunması ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi büyük bir öneme sahiptir. Bununla birlikte, yok edilmesi halinde yeniden yerine getirilmesi oldukça masraflı ve son derece zaman alıcı bir süreçtir [3].

Orman yangınlarıyla mücadelede yangının nerede ve nasıl çıkacağını bilmek yangına sebep olana değişken faktörlerin fazlalığından dolayı zordur [4].

Yangın riskini azaltmak ve etkili bir şekilde yönetmek için ilk adım, riskli bölgeleri ve bu bölgelerin hassasiyet derecesini belirlemektir. İkinci aşama, olası yangın başlangıç noktalarını tespit etmektir. Üçüncü aşamada, yangınların izlenmesi ve gelişimlerinin takibi yer alır. Son olarak, yangınların sona ermesinin ardından, etkileri ve hasarının değerlendirilmesi gerekmektedir [5].

Yangın risk haritaları, olası yangınların olasılığını ve potansiyel etkilerini gösteren haritalardır. Yangın öncesinde ve sırasında yapılması gerekenler konusunda yol gösterir, hangi önlemlerin alınacağını ve nasıl davranılacağını belirler. Bu da yangınla mücadele kaynaklarının en verimli şekilde kullanılmasını sağlar. Ayrıca, yangınlarla ilgili veri toplama ve analiz yapma imkânı sağlar. Risk haritaları, yangınların etkilerini azaltmak ve yangınla mücadele stratejilerini geliştirmek için önemli bir araçtır [6,7,8].

Yangın risk haritalama, yangın risklerini yönetmek ve azaltmak için güçlü bir araçtır. Yöneticilere, karar vericilere ve itfaiyecilere sağladığı kolaylıklar ile, gerekli önlemlerin alınması konusunda önemli bir rol oynar [9].

Son yıllarda yangınların yönetiminde çeşitli araç ve metotlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu metotlardan birisi CBS'dir [8].

Bu çalışmada, önem derecelerine göre 5 farklı parametrenin CBS ortamında kullanılması ile bir yangın risk bilgi sistemi oluşturulması amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Çalışma sahası, Antalya ilinin Manavgat ilçesi sınırlarında ve yaklaşık 36 bin hektar alana sahip, 31°19'54" ve 31°35'00" Doğu boylamları ile 36°50'46" ve 37°1'35" Kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır (Şekil 1).

Araştırmada kullanılan veriler literatürde en sık kullanılan verilerden oluşmaktadır. Çalışma alanında çıkan

geçmiş yangın verileri, Orman genel müdürlüğünün yangın sicil fişlerinden alınmıştır. Eğim ve bakı verisi 30 metre çözünürlüklü ASTER uydu görüntüsünden elde edilen sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılarak elde edilmiştir. Arazi örtüsü ve ağaç türleri, Manavgat orman işletme müdürlüğünün sayısal meşcere haritalarından alınmıştır. Yerleşim alanlarına ve yollara olan mesafeler ise yine Manavgat orman işletme müdürlüğünün sayısal verilerinden elde edilmiş ve Öklid mesafesi yöntemi ile sınıflandırılmıştır.

Çalışma sahasında kalan tarihsel yangın verileri Şekil 2'de gösterilmektedir.

Daha önceki çalışmalardan elde edilen veriler ve yaklaşımlar, yangın oluşumu için risk parametrelerinin belirlenmesi ve ağırlıklandırılması amacıyla incelenmiştir. Bu çalışmalar, 30 farklı örneği kapsayacak şekilde incelenmiş ve derlenmiştir. Bu literatür araştırmalarından elde edilen bilgiler ışığında, hangi tür verilerin veri setinde yer alması gerektiği ve bunların nasıl sınıflandırılması gerektiği belirlenmiştir. Literatürde kullanılan verilere dayanarak, 5 farklı veri parametresi tanımlanmış, sınıflandırılmış ve ağırlıkları belirlenmiştir (Tablo 1). Ayrıca, veri setindeki sınıflar, orman yangını oluşumu risk derecelerine göre çok yüksekte çok düşüğe 5 farklı sınıfta oluşturulmuştur.

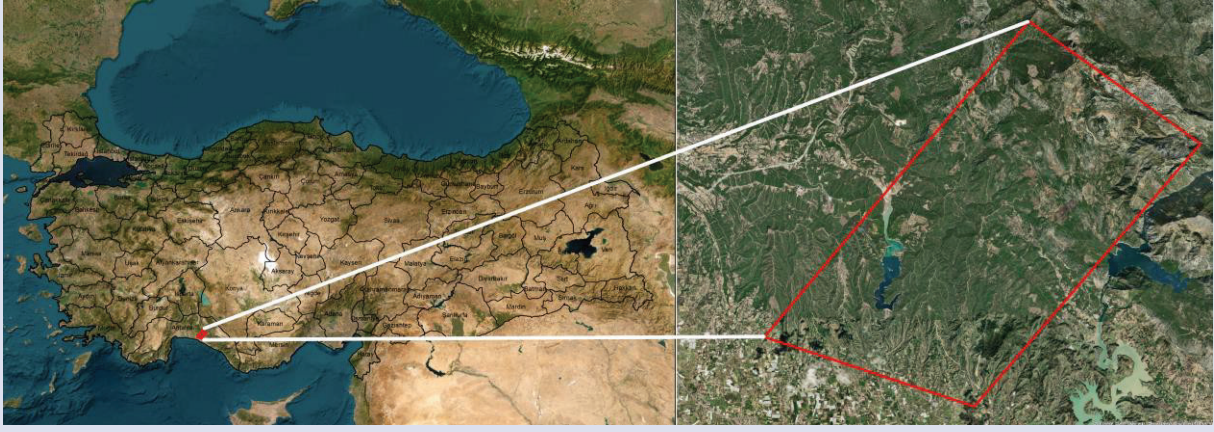
Toplanan veriler CBS ortamına aktarılmıştır. Bu verilere, belirlenen ağırlık değerleri atanarak raster veri haritaları çakıştırılmış ve sonuç haritası üretilmiştir. Daha sonra yangın risk haritasını gerçek yangın verileri ile kıyaslamak amacıyla çıktı haritaları, tarihsel yangınlar ile doğrulanmıştır.

Sonuç

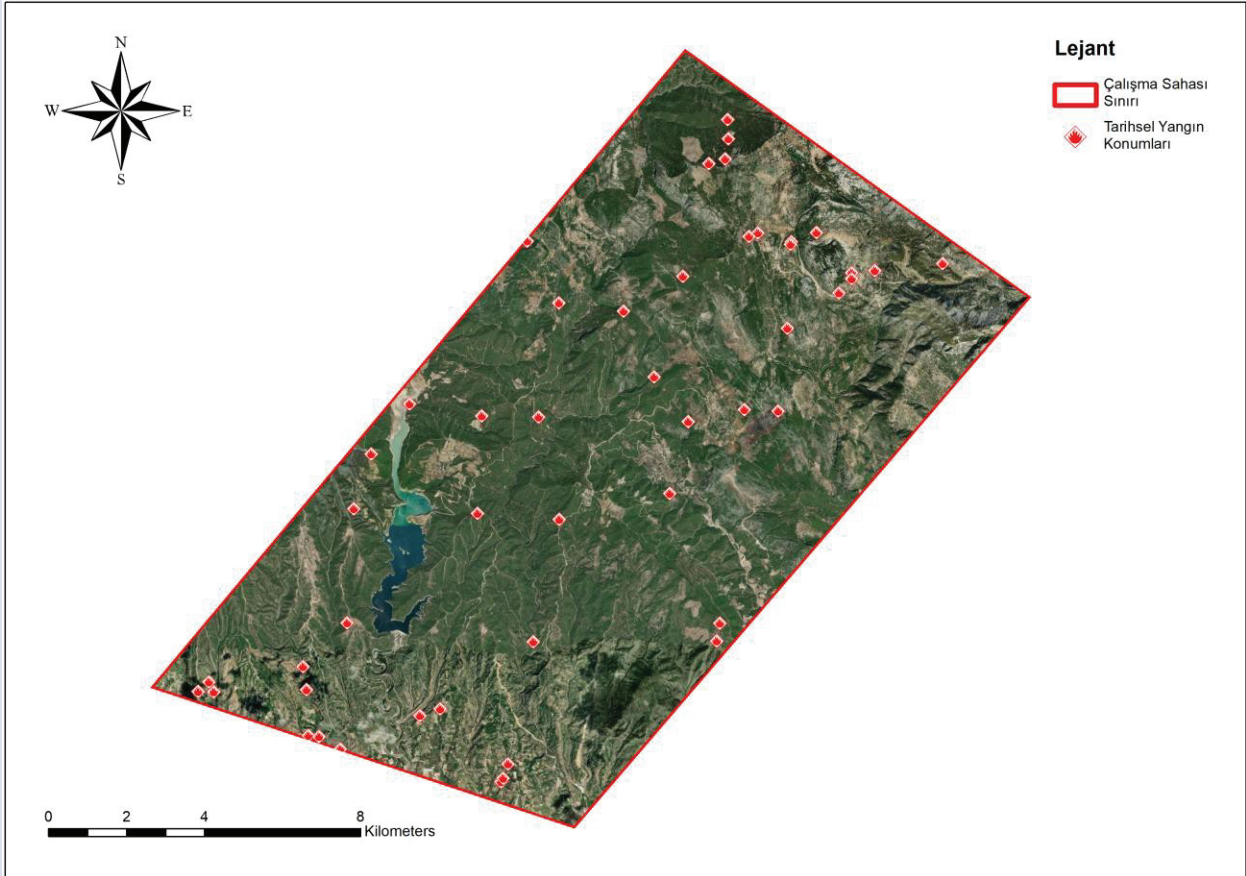
Bu çalışma, Antalya'nın Manavgat ilçesi sınırları içerisinde 21.150 hektarlık bir alanda gerçekleştirilmiştir. Sahanın yaklaşık %85,5'i (18.088 ha.) Ormanlar, %10,3'ü (2.172 ha.) Tarım alanları, %1,7'si (365 ha.) Su, %0,4'ü (82 ha.) Yerleşim yerleri ve %2,1'i (443 ha.) Yapay ve yarı doğal alanlardan oluşmaktadır. Ormanların ise %80,7'si (14.594 ha.) Kızılçam ve karaçam gibi yangına çok duyarlı ağaçlardan oluşur.

Çalışma kapsamında; eğim, bakı, arazi örtüsü, yollara uzaklık ve yerleşim alanlarına uzaklık gibi 5 farklı faktör bir araya getirilerek yangın risk haritaları oluşturulmuş ve çok yüksek, yüksek, normal, düşük ve çok düşük olmak üzere sınıflandırılmıştır (Şekil 3).

Harita incelendiğinde; sahanın %6'sı çok düşük riskli, %17'si düşük riskli, %44'ü normal riskli, %27'si yüksek riskli ve %6'sı çok yüksek riskli olarak bulunmuştur. Bu risk bölgelerinde geçmişte çıkan yangın sayıları ise sırasıyla; 1, 5, 25, 19 ve 3'tür. Yani risk sınıflarında çıkan yangınlara göre yüzde riskler; çok düşük riskli sınıfta %8, düşük riskli sınıfta %14, normal riskli sınıfta %25, yüksek riskli sınıfta %31 ve çok yüksek riskli sınıfta %22 olarak hesaplanmıştır (Tablo 2).



Resim 1. Çalışma sahası
Figure 1. Working area

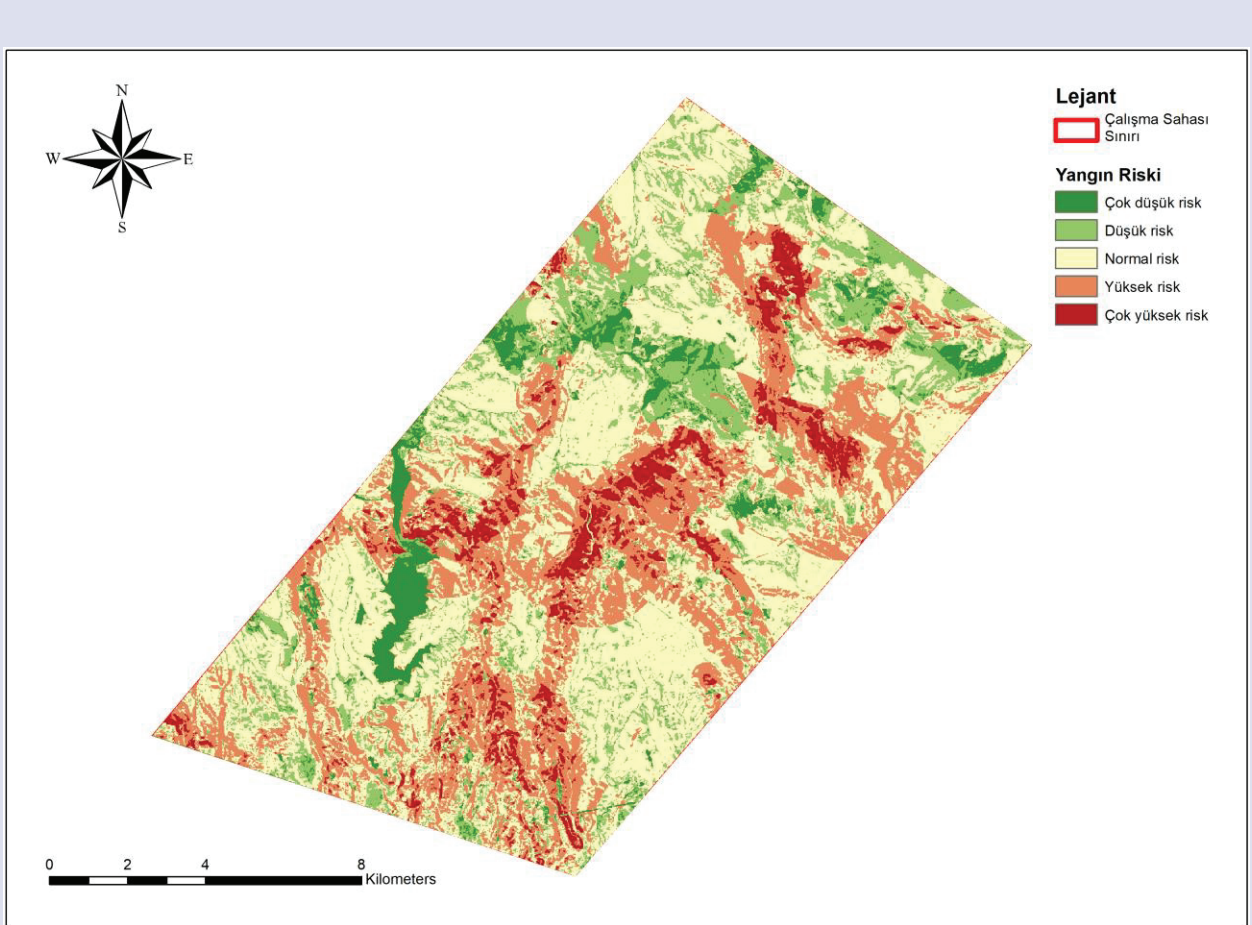


Resim 2. Tarihsel yangın verileri
Figure 2. Historical fire data

Tablo 1. Parametrelerin sınıfları ve ağırlık değerleri

Table 1. Classes and weight values of parameters

Risk parametresi	Ağırlık	Alt sınıflar	Risk sınıfı	Risk puanı
Baki	22	0-45	Düşük	4
		45-90	Normal	6
		90-135	Normal	6
		135-180	Çok yüksek	10
		180-225	Çok yüksek	10
		225-270	Yüksek	8
		270-315	Yüksek	8
		315-360	Düşük	4
Eğim	22	<5	Çok düşük	2
		5-10	Düşük	4
		10-25	Normal	6
		25-35	Yüksek	8
		35-50	Çok yüksek	10
		50>	Çok yüksek	10
		Kızılçam	Çok yüksek	10
		Karaçam	Çok yüksek	10
		Karaçam ve Kızılçam	Yüksek	8
		Ziraat	Yüksek	8
Arazi örtüsü	30	Yerleşim alanları	Yüksek	8
		Elektrik Hattı	Yüksek	8
		Ardıç	Normal	6
		Maki	Normal	6
		Fıstık Çamı	Normal	6
		Gökmar	Normal	6
		Sedir	Normal	6
		Saçlı Meşe	Düşük	4
		Karaçam ve Sedir	Düşük	4
		Gökmar ve Sedir	Düşük	4
		Karaçam ve Gökmar	Düşük	4
		Diğer Alanlar	Düşük	4
		Kızılçam ve Defne	Düşük	4
		Defne	Çok düşük	2
		Su	Çok düşük	1
		<100	Çok yüksek	10
		Yollara uzaklık	13	100-200
200-300	Normal			6
300-400	Düşük			4
400>	Çok düşük			2
<200	Çok yüksek			10
Yerleşime uzaklık	13	200-500	Yüksek	8
		500-1000	Normal	6
		1000-2000	Düşük	4
		2000>	Çok düşük	2



Resim 3. Orman yangını risk haritası
Figure 3. Forest fire risk map

Tablo 2. Risk sınıflarına göre çıkan yangın sayıları, kapladıkları alanlar ve risk yüzdeleri
Table 2. Number of fires according to risk classes, areas covered and risk percentages

Risk sınıfı	Tarihsel yangın sayıları	Riskin kapladığı alan (Hektar)	Yüzde risk
Çok düşük	1	1197	8%
Düşük	5	3508	14%
Normal	25	9347	25%
Yüksek	19	5782	31%
Çok yüksek	3	1316	22%

Tartışma

Bu çalışmada, eğim, bakı, arazi örtüsü, yerleşim yerlerine ve yollara uzaklık gibi parametreleri kullanarak GIS tabanlı bir orman yangını risk haritası oluşturulmuştur. CBS desteğiyle oluşturulan bu haritalar, yangınların önceden tahmin edilmesine ve bölgelerin risk seviyelerinin belirlenmesine olanak tanır. Bu bilgi, yangın önleme ve müdahale stratejilerinin daha etkin bir şekilde geliştirilmesine yardımcı olabilir.

CBS, verileri analiz etmek ve görselleştirmek için güçlü araçlar sunar. Bu sayede, orman yangını risk haritaları oluşturulurken, verilerin karmaşıklığı görsel olarak temsil edilebilir. Bu haritalar, karar alıcıların ve yerel toplumların daha iyi anlamalarını sağlar.

Orman yangını risk haritaları, yerel toplumların yangın riski altındaki bölgeleri tanımasına ve bu bölgelerdeki faaliyetlerini buna göre düzenlemesine yardımcı olabilir. Bu da yangınların önlenmesi ve zararlarının azaltılması için toplum bilincinin artırılmasına katkıda bulunabilir.

Yine yangın riskinin yüksek olduğu bölgelerde kara vericilerin oralara yoğunlaşarak önlemlerin o bölgelerde artırılmasına ve yangına müdahale için gerekli unsurların düzenlenmesine (yangın gözetleme kulesi, söndürme ekipleri, yangın yolları, tahliye planları vb.) katkıda bulunabilir.

Oluşturulan haritalarla karşılaştırılan tarihsel yangın verilerinde elde edilen risk yüzdelerine bakıldığında, risk modelinin görece iyi çalıştığı ve doğru sonuçlar ürettiği söylenebilir.

Gelecekteki çalışmalar için risk haritalamasında kullanılan bağımsız değişkenlerin sayısı artırılarak daha çok değişkenden daha geniş kapsamlı sonuçlar alınabilir. Ayrıca kullanılacak parametrelerin niteliğine göre de sürekli güncellenerek daha doğru haritalar elde edilmesi sağlanabilir. Yangın çıkarmada risk teşkil eden değişkenlerin ağırlıklandırılması hususunda da farklı yöntem ve teknolojiler kullanılarak kıyaslanabilir.

Son olarak oluşturulan bu haritalar; uzmanların, yerel yönetimlerin, sivil toplum kuruluşlarının ve diğer ilgili tarafların bir araya gelerek ortak bir yaklaşım benimsemesiyle en etkili şekilde kullanılabilir.

Referanslar

- [1] O. Yıldırım, "Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Orman Yangını Tahmini," Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2023.
- [2] A. Muhammad et al., "Role of Machine Learning Algorithms in Forest Fire Management: A Literature Review," *Journal of Robotics and Automation*, vol. 5, no. 1, Feb. 2021, doi: 10.36959/673/372.
- [3] İ. Asri, Ö. Çorumluoğlu, and E. Özdemir, "CBS Destekli Orman Yangını Risk Dağılım Analizi; Antalya Örneği," May 2015, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/319182190_CBS_destekli_Orman_Yangini_Risk_Dagilim_Analizi_Antalya_Ornegi_Forest_Fire_Risk_Analysis_with_GIS_Support_Antalya_Sample
- [4] E. Erten, V. Kurgun, and N. Musaoğlu, "Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Orman Yangını Bilgi Sisteminin Kurulması," 2005, [Online]. Available: https://obs.hkmo.org.tr/show-media/resimler/ekler/NDKO_109_ek.pdf
- [5] E. Çolak and F. Sunar, "Evaluation of forest fire risk in the Mediterranean Turkish forests: A case study of Menderes region, Izmir," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 45, p. 101479, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101479>.
- [6] M. Hacısalihioğlu, "Çok Kriterli Karar Analizi ile Orman Yangını Risk Haritalarının Oluşturulması: Karabük Örneği," Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2018.
- [7] E. Özelkan, "Uydu Görüntüleri Kullanarak Yangın Riski Değerlendirilmesi Kaş Örneği," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, İstanbul, 2008. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11527/12276>
- [8] T. I. A. Zainalabden, "Çok Kriterli Karar Analizi ile Oluşturulan Orman Yangını Risk Haritalarının Gerçekleşen Orman Yangınları ile Karşılaştırılması (Manavgat Örneği)," Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çankırı, 2022.
- [9] F. Sivrikaya, B. Sağlam, A. Akay, and N. Bozali, "Evaluation of Forest Fire Risk with GIS," *Pol J Environ Stud*, vol. 23, pp. 187–194, Jan. 2014, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/288597149_Evaluation_of_Forest_Fire_Risk_with_GIS