



YEKARUM

JOURNAL OF YEKARUM

e - DERGİ



e-ISSN: 1309-9388



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

Cilt:8 Sayı:2

2023

Volume:8 Number:2

DergiPark
AKADEMİK



YEKARUM e-DERGİ

Cilt:8 Sayı: 2 Yıl: 2023

Journal of YEKARUM

Volume:8 Number: 2 Year: 2023

E - ISSN:1309-9388

Yazıların tüm bilimsel sorumluluğu yazara veya yazarlara aittir. Dergide yayınlanan yazılardan editör, editör yardımcısı ve yayıncı sorumlu tutulamaz..Bu dergi, aşağıda listelenen veri tabanları tarafından taranmaktadır. All the scientific responsibilities of the manuscripts belong to the authors (s). The editor, assistant editor and publisher accept no responsibility for the articles published in the journal.

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

İndeksler

<https://scholar.google.com/>, <https://www.base-search.net/>, <https://atif.sobiad.com/>





Süleyman Demirel Üniversitesi
YEKARUM e-DERGİ
(Journal of YEKARUM)



Cilt 8, Sayı 2, 2023
E - ISSN:1309-9388

Bas Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. İbrahim ÜÇGÜL

Editörler / Editors

Prof.Dr. Ramazan ŞENOL

Dr. Öğr. Üyesi Bekir AKSOY

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Erhan ŞAHİN

Öğr. Gör. Dr. Ahmet ELBİR

Yayın Danışma Kurulu

Prof. Dr. Serhii YEVSEİEV

Kharkiv Politeknik Enstitüsü, Ukrayna

Prof. Dr. Salah LARBİ

Politeknik Üniversitesi, Cezayir

Dr. N. Nnamdi Ekere

Wolverhampton Üniversitesi, İngiltere

Dr. Khaoula IKHLEF

Politeknik Üniversitesi, Cezayir

Prof. Dr. Reşat SELBAŞ

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta

Doç. Dr. Onur SEVLİ

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur

Doç. Dr. Utku KÖSE

Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta

Dr. Öğr. Üyesi Özdemir DENİZ

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta



Süleyman Demirel Üniversitesi
YEKARUM e-DERGİ
(Journal of YEKARUM)



Cilt 8, Sayı 2, 32-130,2023
E - ISSN:1309-9388

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Arastırma Makalesi / Research Articles

- Küresel İklim Mücadelesi Ekseninde Türkiye'nin Yeşil Enerji Dönüşümüne Genel Bir Bakış
An Overview of Turkey's Green Energy Transformation on the Axis of Global Climate Struggle
Reyhan Bilgin PAK, Engin ÖZDEMİR 32-53
- Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliği Uygulamaları: Kastamonu Entegre A.Ş., Adana MDF Tesisi Örneği
Energy Efficiency Applications in Electric Motors: A Case Study for Kastamonu Entegre Co, Adana MDF Facility
Ergün KORKMAZ, Harun TORUN 54-66
- Tarımda Böcek Zararlılarının Derin Öğrenme Yöntemleri ile Tespit Edilmesi
Detection of Insect Pests in Agriculture with Deep Learning Methods
Fatmanur ATEŞ, Ramazan ŞENOL 67-79
- Eğirdir Gölü Üzerinde Yüzer Güneş Enerji Santrali Uygulanabilirliğinin Araştırılması
Investigation of The Feasibility of Floating Solar Power Plant on Egirdir Lake
Serkan GÜNER, Arif Emre ÖZGÜR 80-93
- Regresyon Yöntemleri ile Güneş Enerjisi Tahmini
Solar Energy Prediction by Regression Methods
Fatmanur ATEŞ, Ramazan ŞENOL 94-104
- Dielektrik Bariyer Deşarj (DBD) Ozon Reaktörü Tasarımı ve Prototip İmalatı
Dielectric Barrier Discharge (DBD) Ozone Reactor Design and Prototype Manufacturing
İhsan YÜREKLİ, Remzi VAROL 105-113
- Gerçek Zamanlı Göz Bebeği Takip Sistemi İçin Hibrit Algoritma Geliştirilmesi
Development of a Hybrid Algorithm for Real-Time Pupil Tracking System
Cumali KARA, Gürkan BİLGİN, Süleyman BİLGİN114-130



Süleyman Demirel Üniversitesi YEKARUM e-DERGI (Journal of YEKARUM)



Cilt 8, Sayı 2, 32-53, 2023
E - ISSN:1309-9388

Küresel İklim Mücadelesi Ekseninde Türkiye'nin Yeşil Enerji Dönüşümüne Genel Bir Bakış

Reyhan Bilgin PAK^{1*}, Engin ÖZDEMİR²

^{1*} Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara/Türkiye (ORCID: 0009-0008-0838-0702),
reyhanbilginn@gmail.com

² Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye,
(ORCID: 0000-0003-0882-332X), ozdemir@kocaeli.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 08/08/2023 ve Kabul Tarihi 21/09/2023)

ÖZET:

Küresel iklim değişikliği tüm dünyayı tehdit eden günümüzün en önemli çevresel problemidir. İklim değişikliğinin olumsuz etkileriyle mücadele edebilmek için tüm sektörlerde sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik ulusal ve uluslararası birçok girişim mevcuttur. Fakat sera gazı salımında en çok paya sahip olan sektörün enerji sektörü olduğu göz önünde bulundurulduğunda enerji sektöründe dönüşümün şart olduğu kaçınılmaz bir gerçektir. Bu nedenle ülkeler artık enerji politikalarını iklim politikalarına uyumlu hale getirecek düzenlemeler yapmaktadırlar. Bu doğrultuda enerji sektöründe başlıca hedef yeşil enerji dönüşümünün gerçekleştirilmesidir. Bu çalışmada; yeşil enerji dönüşümü uygulamalarında iddialı olan seçili ülkelerin iklim mücadelesi ekseninde uyguladıkları yeşil enerji politikaların analizi yapılmış, Türkiye'nin mevcut enerji profili doğrultusunda Türkiye'de yeşil enerji dönüşümünü sağlayacak öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, karbon nötr hedefleri, yeşil enerji dönüşümü, enerji politikaları

An Overview of Turkey's Green Energy Transformation on the Axis of Global Climate Struggle

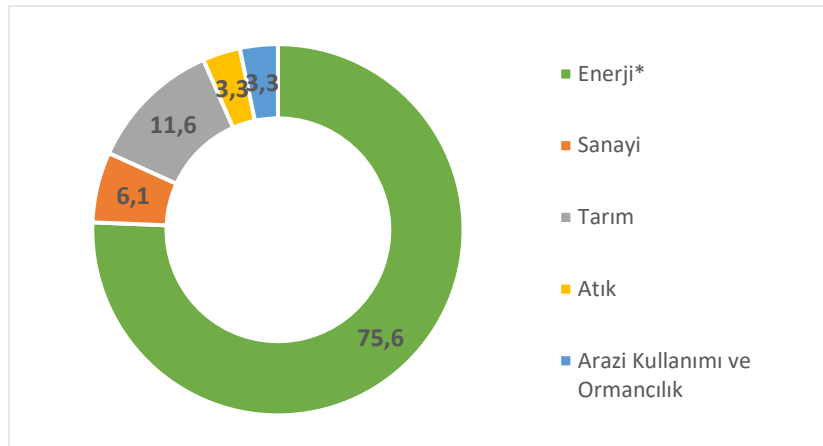
ABSTRACT

Global climate change is the most important environmental problem of today, threatening the whole world. In order to combat the negative effects of climate change, there are many national and international measures to reduce greenhouse gas emissions in all sectors. However, considering that energy sector that has the largest share in greenhouse gas emissions is the energy sector, it is an inevitable fact that transformation in the energy sector is a must. For this reason, countries are now making arrangements to align their energy policies with climate policies. In this direction, the main target in the energy sector is make the green energy transition. In this study; An analysis of the green energy policies implemented by the selected countries, which are assertive in green energy transition practices, on the axis of climate struggle, has been analyzed, in line with Turkey's current energy profile suggestions have been developed to ensure green energy transition in Turkey.

Keywords: Climate change, carbon neutral targets, green energy transition, energy policies

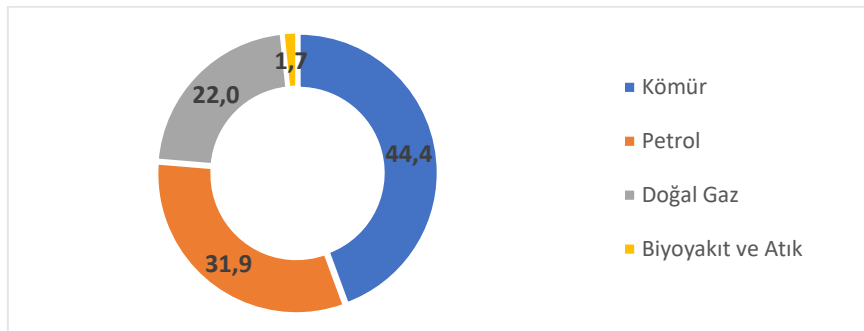
1. GİRİŞ

Enerji insanlığın varoluşundan beri temel ihtiyaçlardan biridir ve artan nüfus, gelişen sanayi, teknolojiye kat edilen yol gibi birçok etken enerji talebinin gün geçtikçe artmasına sebep olmaktadır [1]. Enerji kullanımı çeşitli çevresel problemleri beraberinde getirmektedir. Çevre problemleri arasında en kritik olanı ise antropojenik (insan faaliyetleri) kaynaklı sera gazı emisyonlarının artmasına bağlı olarak küresel ısınmanın oluşması sonucunda meydana gelen iklim değişikliğidir [2]. Özellikle sanayi devriminden sonra daha çok artan enerji kullanımı, küresel çapta en çok kullanılan enerji kaynağı olarak fosil kaynaklar içeriğindeki karbondioksit nedeniyle sera gazı emisyonlarında ciddi artışlara sebep olmuştur [3]. Bu durum enerji sektörünü, küresel sera gazı emisyonlarının %75,6’sından sorumlu olmasına neden olarak küresel ısınmada en çok payı olan sektör haline getirmiştir. (Şekil 1) Enerji kaynaklı sera gazı emisyonlarında ise en büyük paya %44 oranıyla kömür sahip olmakla birlikte bunu sırasıyla petrol, doğal gaz ve biyoyakıt takip etmektedir. (Şekil 2)



Şekil 1. Küresel çapta sektör bazlı sera gazı emisyonu salımı [4]

*Elektrik, ısınma ve ulaşım amaçlı enerji kullanımını kapsamaktadır.



Şekil 2. 2020 yılı enerji kaynaklı sera gazı emisyonlarının kaynak bazında dağılımı [5]

İklim değişikliği ile mücadeleye katkı sağlayabilmek adına tüm çaba fosil yakıtlardan uzaklaşarak temiz ve çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak ve %100 yenilenebilir enerjiye geçişi sağlamaya yöneliktir [6]. Ayrıca oluşum hızı tüketim hızından büyük olması nedeniyle kısa vadede yenilenemeyen enerji kaynakları olarak kabul edilen fosil enerji kaynakları enerji arz güvenliği sorunsalını ortaya çıkarmaktadır [7]. Özellikle enerji ihtiyacını fosil yakıtlardan karşılayan ülkeler için bu durum enerji sektörünü daha da kritik duruma getirmektedir. Bu nedenle son dönemlerde alternatif enerji kaynaklarına yönelim daha da artmış ve güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal gibi temiz ve kendini yenileyebilen enerji kaynakları ön plan çıkmıştır [8].

Diğer taraftan enerji sektörünün karbondan arındırılması için yenilenebilir enerjiye geçiş tek başına yeterli olmamaktadır. İklim değişikliğinin olumsuz etkileriyle mücadele için enerji sektörü özelindeki en önemli çözüm tüm dünya ülkelerinin gündeminde olan ve ülkelerin günümüz enerji politikalarını şekillendiren yeşil enerji dönüşümüdür. Yeşil enerji dönüşümü temelde temiz enerji kaynaklarına dayalı enerji sistemini merkeze alarak temiz enerji uygulamalarıyla sera gazı emisyonlarının azaltılmasını hedefleyen ve bunu yaparken ekolojik dengeye zarar vermeyen bir enerji geçişini ifade etmektedir [9]. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı tarafından ise enerji dönüşümü; 2050 yılına kadar enerji sektörünü fosil yakıtlardan arındırarak sıfır emisyonlu enerji kaynaklarına geçiş olarak tanımlanmaktadır [10].

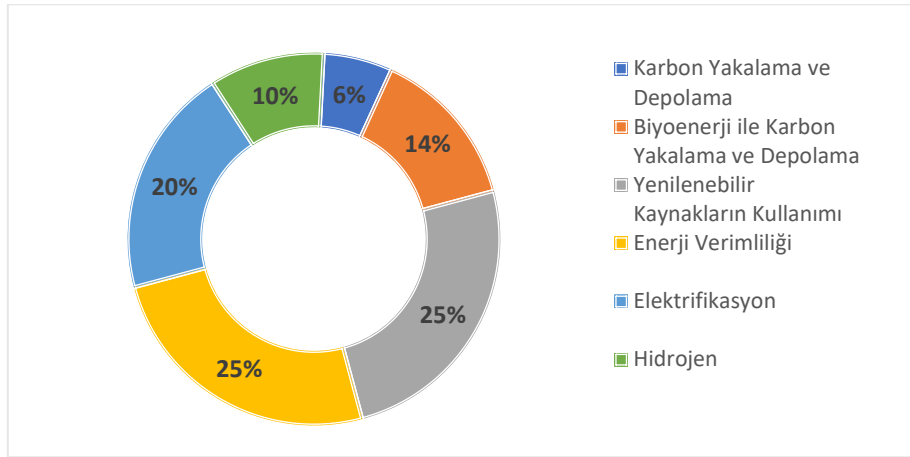
Sera gazı emisyonlarında enerji sektörünün payı göz önüne alındığında enerji sektöründe köklü bir değişikliğe giderek yeşil enerji dönüşümünü sağlanmasının şart olduğu görülmektedir. Bu dönüşümü hızlandırmak adına fosil yakıtlardan uzaklaşmanın yanında atılması gerek bazı adımlar mevcuttur. Bunlar temelde enerji verimliliğinin artırılması, temiz teknolojilerin sisteme entegre edilmesi ve enerji depolama sistemlerinin yaygınlaştırılmasıdır [11]. Yeşil enerji dönüşümünü destekleyecek teknolojik gelişmeler in başında ise enerji depolama, karbon yakalama, kullanma ve depolama (carbon capture, utilisation and storage-CCUS), biyoenerji ile karbon yakalama ve depolama (bioenergy with carbon capture and storage-BECCS) ve hidrojen enerjisi gelmektedir.

Enerji depolama, enerji arzını kesintisiz sağlamaya yönelik geliştirilmiş bir teknolojidir ve karbondan arındırılmış yeşil bir enerji sistemine geçişin kilit noktalarından biridir [12]. Enerji sisteminin karbondan arındırılması yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması ile mümkün olacaktır. Bu noktada enerji depolama sistemleri üretilen fazla enerjiyi depolayarak hava koşullarından ve dış etkenlerden etkilenen yenilenebilir enerji üretimine sağladığı esneklik ile arz güvenliğini garanti altına almaktadır. Enerji arz

güvenliğinin yanında 2050 karbon nötr hedefini sağlamada destekleyici bir teknoloji olması nedeniyle geliştirilen çeşitli politikalar ile yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır.

Karbon yakalama, kullanma ve depolama; çelik, çimento gibi endüstriyel işlemler ile fosil kaynaklara ve biyokütleyle dayalı enerji üretimi sonucu açığa çıkan karbondioksitin yakalanarak uygun bir jeolojik alana taşınıp depolanmasına dayalı bir teknolojidir [13]. CCUS teknolojisi atmosferi karbondan arındırmasıyla küresel iklim mücadelesinde ve 2050 karbon nötr hedeflerinin gerçekleştirilmesinde önemli bir yere sahiptir [14]. Yine biyokütle kaynaklı enerji üretim santrallerine entegre edilen biyoenerji ile karbon yakalama ve depolama (BECCS) teknolojisi de biyokütleden enerji üretimi sırasında salınan CO₂'yi yakalama ve depolama işlemidir [15].

Suyun elektrolizi yöntemiyle üretilen yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı yeşil hidrojen ise sera gazı emisyonu salımı yapmaması nedeniyle yeşil enerji dönüşümü için vazgeçilmez olmaktadır [16]. 2020 yılında yayımlanan AB Hidrojen Stratejisi ile hidrojenin iklim değişikliği için öneminin yanında enerji yoğun endüstriyel süreçlere ve ulaşım sektörüne entegre edilerek karbondan arındırılmış bir ekonomiye geçmenin temel taşı olduğunun altı çizilmiştir [17]. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı 2022 Dünya Enerji Geçişi Görünümü raporuna göre ise enerji sektöründe uygulanacak altı farklı uygulama ile 2050 yılına kadar karbondioksit emisyonunda 36.9 Gt azalma sağlanabilecektir. (Şekil 3) Bu senaryo dikkate alındığında CCUS, BECCS ve hidrojen enerjisinin enerji kullanımı kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılmasına büyük katkı sağlayacağı görülmektedir.



Şekil 3. 2050 yılına kadar emisyonları azaltabilecek altı uygulama [18]

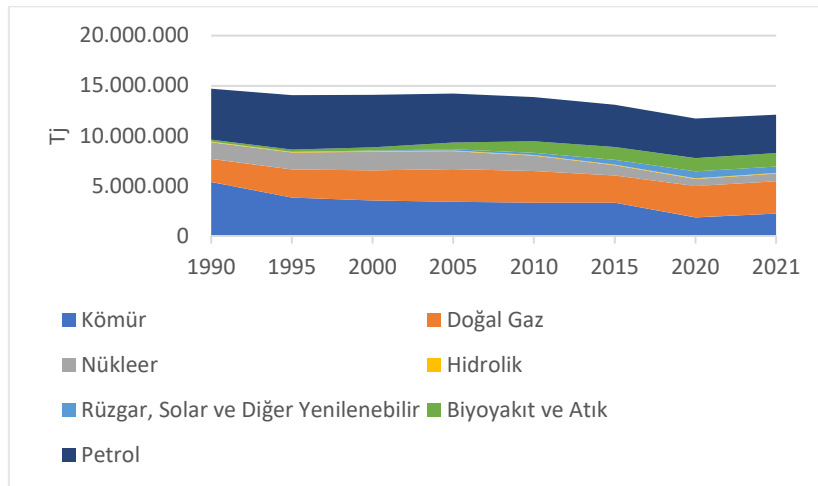
Yeşil enerji dönüşümü sadece iklim değişikliğinin bir getirisi değil aynı zamanda ülkelerin sürdürülebilir bir ekonomiye geçişinin de anahtarıdır [19]. Düşük maliyetli enerji üretimine imkân vererek rekabet gücünü artıran bu dönüşüm, yerli ve yenilenebilir enerji

kaynaklarının yaygınlaştırılmasıyla artan enerji talebinin karşılanmasını sağlayarak ekonomik bağımsızlığın kazanılmasına katkı sağlamaktadır [20]. Yeşil enerji dönüşümü ayrıca iklim değişikliğinin olumsuz etkileriyle mücadele amacıyla Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında her yıl düzenlenen Taraflar Konferansı (COP)’nın gündeminde yer almakta ve Paris İklim Anlaşmasının hedeflerinin gerçekleştirilmesinde önem arz etmektedir. Bunun yanında Avrupa Yeşil Mutabakatı ile yine fosil enerji kaynaklarının kullanımının sınırlandırılmasıyla temiz enerji kaynaklarının yaygınlaştırılmayı amaçlanmaktadır [21].

2. SEÇİLİ ÜLKELERİN YEŞİL ENERJİ POLİTİKALARI

2.1 Almanya

Almanya günümüz küresel sorunlarından en önemlisi olan iklim değişikliği ile mücadelesini hem uluslararası platformlarda iş birliği ile hem de ulusal faaliyetleriyle hız kesmeden sürdürmektedir. Bu kapsamda enerji sektöründeki politikaları da enerji sektörünü karbondan arındırarak iklim değişikliğine katkı sağlamaya yöneliktir. Mevcut durumda Almanya enerji arzında fosil yakıtlara bağlı ülkelerdendir. Almanya’nın enerji profiline bakıldığında yıllar itibarıyla nükleer enerjinin büyük oranda azaldığı ve yerini biyoenerji, atık, rüzgâr ve güneş enerjisi aldığı görülmektedir. Her ne kadar son yıllarda yenilenebilir enerjiye yatırım artmış olsa da Almanya hala enerji ihtiyacının büyük bir kısmını fosil yakıtlardan karşılamaktadır. (Şekil 4)



Şekil 4. Almanya için kaynak bazında enerji arzı [22]

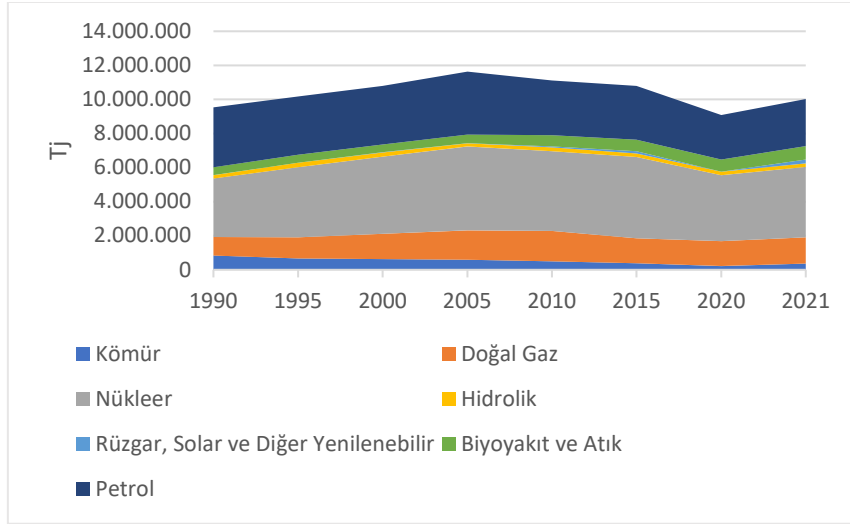
Almanya’nın tüm sektörlerde iklim hedeflerine ulaşmasına yönelik bir planı olan 2022 yılı Acil İklim Eylem Programı kapsamında; 2030 yılına kadar yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik üretimini %80’e çıkarmayı hedeflemektedir [23]. Diğer taraftan Almanya’nın enerji

dönüşümünü sağlayabilmesi ve ulusal iklim hedeflerine ulaşabilmesi için planladığı bir diğer girişim kömürden çıkıştır [24]. 2020 yılında Kömüre Dayalı Enerjinin Azaltılması ve Sonlandırılması ve Diğer Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun yürürlüğe girmiştir. Kanun kapsamında Almanya'nın 2038 yılına kadar kömürden aşamalı olarak çıkması planlanmaktadır. Yasa yürürlüğe girdiği tarihten itibaren yeni termik santrallerin faaliyete geçmesine izin vermemektedir. Ayrıca Ocak 2020 tarihinden önce işletmeye alınmış taş kömürlü ve linyitli termik santrallerde üretimin 2022 yılının sonuna kadar 15 GW'a düşürülmesini ve 2030 yılına kadar taş kömürü için 8 GW'a, linyit için 9 GW'a düşürülmesini şart koymuştur [25].

Yapılan yeni düzenlemelerle kömürden çıkış tarihinin 2030'a çekilmesi gibi bir çalışma gündemdedir. Fakat yaşanan enerji krizinden dolayı 2022 yılında kapatılması gereken iki linyit santralinin 2024 yılına kadar faaliyette kalması kararlaştırılmıştır [26]. Almanya 2000 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eden ve 20 yıl boyunca tarife garantisi veren Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yasası (Erneuerbare-Energien-Gesetz- EEG) kapsamında 2010 yılında Enerji Konsepti'ni ve akabinde Energiewende olarak adlandırılan enerji politikası geliştirilmiştir [27]. Energiewende, Almanya'nın düşük karbonlu enerji sistemine geçiş planıdır ve nükleer enerjiyi kademeli olarak kaldırmayı amaçlamaktadır [28].

2.2 Fransa

Fransa, Avrupa Birliği'nin en büyük ve nüfus yönünden en kalabalık ikinci ülkesidir. Avrupa'nın ikinci en büyük rüzgâr kaynağı ve deniz bölgesi olmasının yanında güneş enerjisi ve hidroelektrik gibi önemli yenilenebilir enerji kaynaklarına rağmen enerji arzı bakımından büyük oranda nükleer enerjiye bağlıdır [29]. 2020 yılında Fransa'nın enerji arzının %42'lik kısmı, elektrik üretiminin ise %77'lik kısmı nükleer enerjiden sağlanmıştır. 1990-2021 yılları arasındaki enerji eğilimine bakıldığında ise yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki payının artarken fosil yakıt kullanımının azaldığı görülmektedir. (Şekil.5)



Şekil.5. Fransa için kaynak bazında enerji arzı [22]

Fransa yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artırmak için enerji kaynağının türüne ve kapasitesine göre 20 yıl süreli prim tarifi ve tarife garantisinin yanında vergi düzenlemesi, sübvansiyon ve kredi imkânları gibi çeşitli teşvik mekanizmaları uygulamaktadır [30]. Yine de toplam enerji arzı içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı oldukça sınırlı durumdadır. 17 Ağustos 2015 tarihinde çıkardığı ‘Yeşil Büyüme için Enerji Geçişi Yasası’ sayesinde enerji geçişi alanında referans konumunda bir ülkedir. Bu yasa ile yenilenebilir ve temiz enerjiden döngüsel ekonomiye kadar birçok alanda yeşil büyümeyi teşvik ederek sera gazı emisyonunu azaltmayı hedeflemektedir. Yasa kapsamında; 2030 yılına kadar fosil yakıt kullanımını %30 azaltmak, 2025 yılına kadar nükleer enerjinin elektrik üretimindeki payını %50’ye düşürmek, 2030 yılına kadar yenilenebilir kaynakların payını enerji tüketiminde %32’ye ve elektrik üretiminde %40’a çıkarmak, 2012 yılına kıyasla 2050 yılına kadar nihai enerji tüketimini %50 düşürmek gibi hedeflere sahiptir [31].

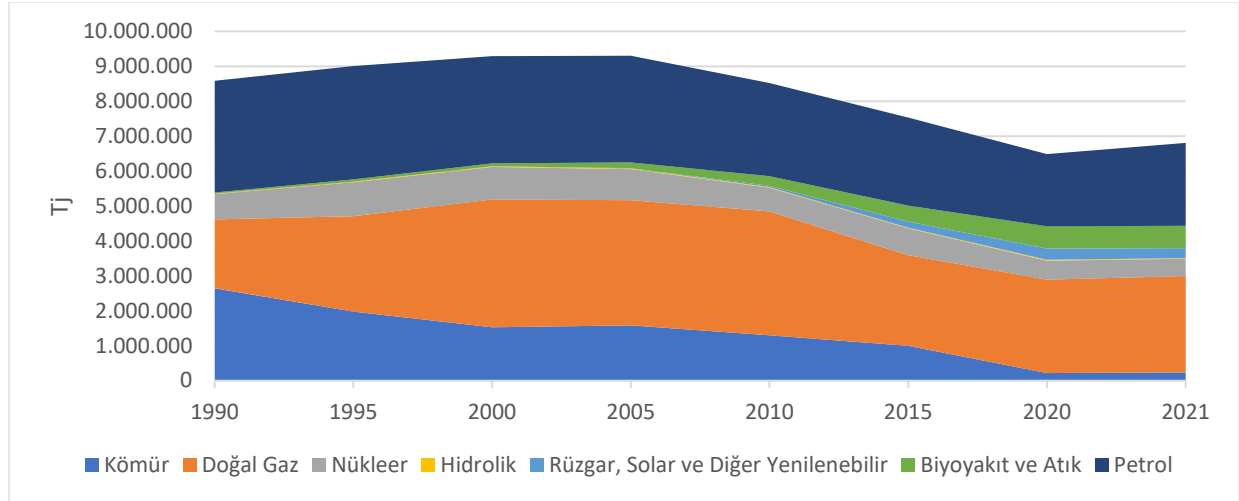
8 Kasım 2019 tarihinde ise iklim eyleminin uygulanabilirliğini güçlendirmek adına Enerji ve İklim Yasası kabul edilmiştir. Bu kapsamda Enerji Geçiş Yasası’nda 2030 yılına kadar fosil yakıtlarda %30 olan azalma hedefi Enerji ve İklim Yasası’nda %40 olarak revize edilmiştir [32]. Bunun yanında Fransa 2022 yılı sonuna kadar kömürden çıkmayı taahhüt etmiştir [33]. Ancak Fransa doğal gaz arzının %20’sini Rusya’dan sağlamaktadır. Rusya-Ukrayna arasında yaşanan savaş nedeniyle doğal gaz fiyatları artmış ve enerji arzı tehlikeye girmiştir. Bu nedenle 2021 yılında enerji arzının %1’lik kadar çok küçük bir oranı kömürden sağlanmış olsa da savaş nedeniyle kömürlü termik santrallerin bir tanesi için tekrardan geri açılma fikri gündemdedir [34].

2020 yılında enerji verimliliğine ve tasarrufuna odaklı çok yıllık enerji programını (The multi-annual energy programs –PPE) kabul eden Fransa enerji programının rehberliğinde 2019-2023 ve 2024-2028 olmak üzere iki farklı dönemi kapsayan enerji ve iklim stratejisi yayımlanmıştır. Strateji 2050 yılına kadar karbon nötr olmayı ve yeşil enerji geçişini hızlandırmayı sağlayacak hedefler ve adımlar içermektedir [35]. Temelde 60 ana hedeften oluşan strateji toplam enerji ve kömür tüketimini 2023 yılına kadar %66, 2028 yılına kadar %80 oranında azaltmak ve 2035 yılına kadar nükleer enerjinin enerji arzındaki payını %50 azaltmak gibi temel hedefler doğrultusunda enerji sektörüne karbondioksit emisyonlarının azaltılması yönünde ivme katmaktadır [36].

2.3 Birleşik Krallık

Birleşik Krallık iklim ve enerji politikaları bakımından entegre bir sisteme sahiptir. 31 Ocak 2020 tarihinde kendi yasalarının, sınırlarının ve paralarının kontrolünü elinde tutmak ve her alanda bağımsız bir devlet olabilmek adına Brexit olarak adlandırılan politikası ile Avrupa Birliği'nden ayrılarak 2020 yılına kadar iklim ve enerji politikaları bakımından AB mevzuatına bağlı olan Birleşik Krallık, Brexit sonrasında kendi hedeflerini belirlemeye başlamıştır [37].

Birleşik Krallık 2021 yılında enerji arzının %76'sını fosil yakıtlar, %15'ini yenilenebilir enerji kaynakları ve %9'unu nükleer enerjiden karşılamıştır. Kömürün elektrik üretimindeki payı 2010 yılında %28'ken bu pay 2020 yılında %2'ye düşmüştür. (Şekil 6) Ayrıca 2015 yılından 2025 yılına kadar elektrik üretiminde kömürün kullanımını aşamalı olarak kaldırmayı planladığını duyurmuş [38] ve 2021 yılında yapılan düzenleme ile kömürün tamamen kaldırılması için planlanan yılı 2024 olarak güncellenmiştir [39]. Ayrıca enerji talebini azaltarak ve enerjiyi yenilenebilir enerji kaynaklarından temin ederek 2035 yılına kadar elektrik sektörünün tamamen karbondan arındırmayı hedeflemektedir. Bu kapsamda 2050 yılına kadar elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin payını %80'e çıkarmak, güneş ve rüzgar enerjisine yatırımları artırarak 2050 yılında rüzgar enerjisinden 430 TWh üretim ve güneş enerjisinden 85 TWh üretim gibi hedefleri bulunmaktadır [40].



Şekil 6. Birleşik Krallık için kaynak bazında enerji arzı [22]

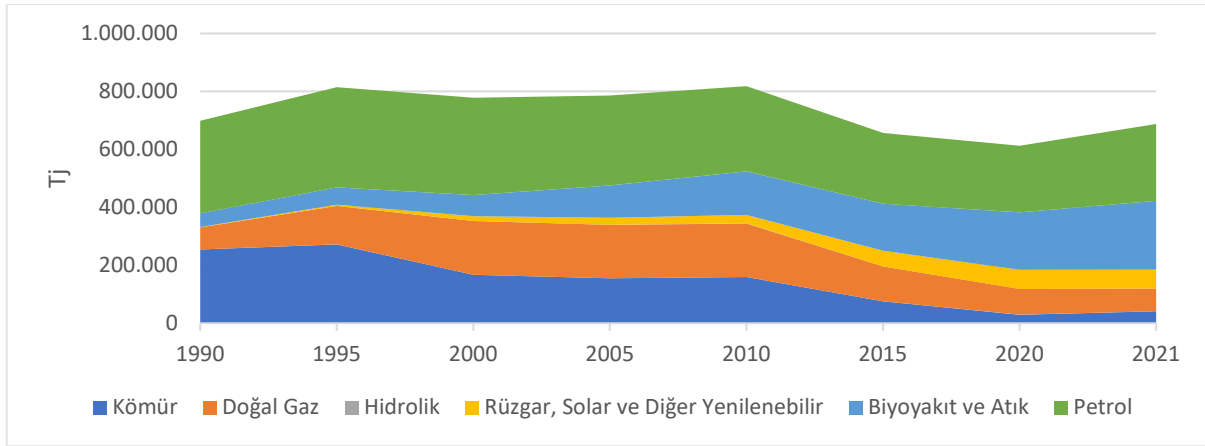
Birleşik Krallık, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını yaygınlaştırmak için ilk olarak 2002 yılında hazırlanan ve 2014'te tekrardan revize edilen yenilenebilir enerjiye geçiş programı kapsamında 2037 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarına teşvik verilmesini kararlaştırılmıştır [41]. Diğer taraftan 2017 yılında kabul edilen Temiz Büyüme Stratejisi ile ulaşım, sanayi, enerji ve tarım gibi birçok sektörde önemli noktaların altı çizilmiş ve bu doğrultuda; 2030 yılına kadar endüstri ve iş yerlerindeki enerji verimliliğini en az %20 artırmak, ısınmada fosil yakıtların kullanımını sınırlandırarak düşük karbonlu ısınmayı yaygınlaştırmak, 2025 yılına kadar elektrik üretimi amacıyla kömür kullanımını kademeli olarak sınırlandırılmak, 2040 yılına kadar benzin ve dizelle çalışan araçların satışını sonlandırarak düşük karbonlu ulaşımına geçişi hızlandırmak gibi karbondan arındırma yolunda birçok hedef belirlenmiştir [42]. Ayrıca yine 2021 yılında yayımlanan Net Sıfır Stratejisi fosil yakıtlardan uzaklaşmayı, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi hızlandırmayı, karbon yakalama ve depolama teknolojilerinin geliştirilip yaygınlaştırılmasını teşvik eden bir politikadır. Birleşik Krallık 1990 yılına kıyasla 2019 yılında ekonomisini %78,7 büyütürken sera gazı emisyonlarında %44 azaltım sağlamıştır [43]. Bu durum büyük ekonomisi olan birçok ülke arasında Birleşik Krallık'ın çok önde olduğunu göstermektedir.

2.4 Danimarka

Danimarka 2022 Çevre Performans Endeksi'ne göre çevre politikalarının sürekliliği ve iklim değişikliğiyle mücadelesi ile küresel çapta yeşil lider konumundadır [44]. Her yıl Nisan ayında İklim Yasasının hedeflerinin yerine getirilip getirilmediğinin incelenmesi ve mevcut durumun değerlendirilmesi adına Danimarka Enerji Ajansı tarafından Enerji ve İklim Görünümü raporlarının devamı niteliğinde olan 'İklim Durumu ve Görünümü' raporu hazırlanmaktadır

[45]. 1970 yılına kadar enerji üretiminin neredeyse tamamı ithal petrole dayalı olan Danimarka yaşanan petrol krizi sonrasında artan petrol fiyatları ve küresel enerji kıtlığı nedeniyle enerji politikalarında zamanla değişikliğe giderek enerjinin daha verimli kullanıldığı ve yenilenebilir kaynaklara dayalı bir enerji modeline geçiş yapmıştır. Bu kapsamda 1976 yılında ilk enerji planını geliştirmiş ve 1986 yılında nükleer enerjiyi tamamen reddetmiştir [46].

Diğer taraftan Danimarka enerji sisteminde biyoenerjinin önemli bir yeri vardır. Toplam enerji arzına bakıldığında yenilenebilir enerji kaynakları içinde en büyük paya biyoenerji sahiptir. (Şekil 7) Ayrıca kömürü kademeli olarak azaltma politikası kapsamında yerine biyokütleyi yaygınlaştırmayı planlamaktadır. Fosil yakıtların elektrik ve ısı üretimindeki payını ise %89 düşürmeyi hedeflemektedir [45].



Şekil 7. Danimarka için kaynak bazında enerji arzı [22]

Danimarka 2030 yılına kadar elektrik üretiminin %100'ünü ve toplam enerji arzının %55'ini yenilenebilir enerjiden karşılamayı hedeflemektedir [47]. Bu kapsamda 2018 yılında çıkardığı Enerji Anlaşması ile iklim çerçevesinde enerji sektöründe gerçekleştirilmesi gereken hedeflerin altını çizmiştir. Enerji Anlaşması; 2030 yılına kadar kömürün aşamalı olarak kaldırılmasını ve 2.400 MW açık deniz rüzgâr çiftliği kurulmasını hedeflemektedir. Ayrıca AR-GE çalışmaları, enerji tasarrufu ve yeşil teknolojilerin gelişimi için ayrılan hibelere ayrı ayrı yer verilmiştir [48].

Elektrik üretiminde rüzgâr enerjisi tüm kaynak türleri içerisinde yarından fazla paya sahip olarak Danimarka'yı bu alanda bir dünya lideri yapmaktadır [49]. Danimarka, ayrıca açık deniz rüzgâr enerjisinden faydalanarak dünyanın ilk enerji adalarını kurmuştur. Enerji adaları rüzgâr türbinleri aracılığı ile hem Danimarka hem de civar ülkeler için yeşil enerji kaynağı olmaktadır. Bu sayede Danimarka ve Avrupa ülkelerinin fosil yakıtlardan uzaklaşmasına katkı sağlaması

planlanmaktadır. 2030 yılında tamamlanması planlanan enerji adaları Kuzey Denizi’nde 3 GW ve Baltık Denizi’nde 2 GW olmak üzere toplamda 5 GW’lık güç sağlayabilecektir [50].

2.5 Türkiye

Türkiye enerji arzında büyük oranda fosil yakıtlara dolayısıyla petrol ve doğal gaz rezervinin sınırlı olması nedeniyle dışarıya bağımlıdır. Türkiye’nin artan nüfus ve gelişen sanayisi nedeniyle enerji talebi ve dolayısıyla enerji alanında yaptığı yatırımlar hızla artmaktadır. Ayrıca yine arz güvenliğini sağlama adına enerji üretiminde yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Fakat bu artışa sadece arz güvenliğinin sebep olduğu söylenemez. Son yıllarda iklim değişikliği ile mücadele kapsamında sera gazı emisyonlarının başlıca kaynaklarından biri olan enerji sektöründe temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş için küresel bir çaba gösterilmektedir.

Enerji sektörü kaynaklı sera gazı emisyonlarını azaltmak için iklim alanındaki çalışmalarını gerek uluslararası iş birliği gerekse ulusal faaliyetleriyle sürdüren Türkiye, birçok anlaşmaya ve müzakerelere taraf olmuştur. 30 Eylül 2015 tarihinde Niyet Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı Beyanını (NDC) Sözleşme Sekreteriyasına sunarak bu kapsamda referans senaryoya göre sera gazı emisyonlarında 2030 yılına kadar %21 oranına kadar azaltım hedefi belirlemiş ve Paris Anlaşması’nı 22 Nisan 2016 tarihinde New York’ta imzalamıştır. 7 Ekim 2021 tarihinde ise “Paris Anlaşmasının Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun” Resmî Gazete ’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir [51]. Türkiye, Paris İklim Anlaşmasına taraf olarak anlaşmanın taraflara yüklediği sorumlulukları da kabul etmiştir. Bu kapsamda Türkiye 2053 “sıfır emisyon” hedefini belirlemiş ve 2030 yılına kadar fosil yakıtların kullanımını sınırlayarak yenilenebilir enerjinin payını artırmayı, yutak alanları korumayı ve karbondioksit salımını azaltmayı taahhüt etmiştir [52].

Yine 2021 yılında Türkiye Ticaret Bakanlığı tarafından 2019 yılında kabul edilen Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde Yeşil Mutabakat Eylem Planı yayımlanmıştır. Eylem Planı’nda 9 başlık altında Mutabakat hedeflerini gerçekleştirmeye yönelik 31 hedef ve 81 eyleme yer vermiştir. Temiz, ekonomik ve güvenli enerji arzı başlığı altında ise enerji kaynaklarının verimli kullanılması, etkin bir enerji yönetiminin uygulanması ve enerjinin düşük maliyetle, sürdürülebilir ve çevresel etkilerini göz önünde bulundurarak sağlanmasını amaçlayan bir strateji geliştirilmiştir [53].

Türkiye son NDC’sini ise 2022 yılında COP27’de açıklayarak %21 olan emisyon azaltım hedefini %41 olarak güncellemiştir. Bu kapsamda sera gazı emisyonlarının azaltılmasına

yönelik enerji, sanayi, ulaşım, inşaat, tarım, atık ve ormancılık faaliyetleri için önlemler ve hedeflere ayrı ayrı yer verilmiştir [54].

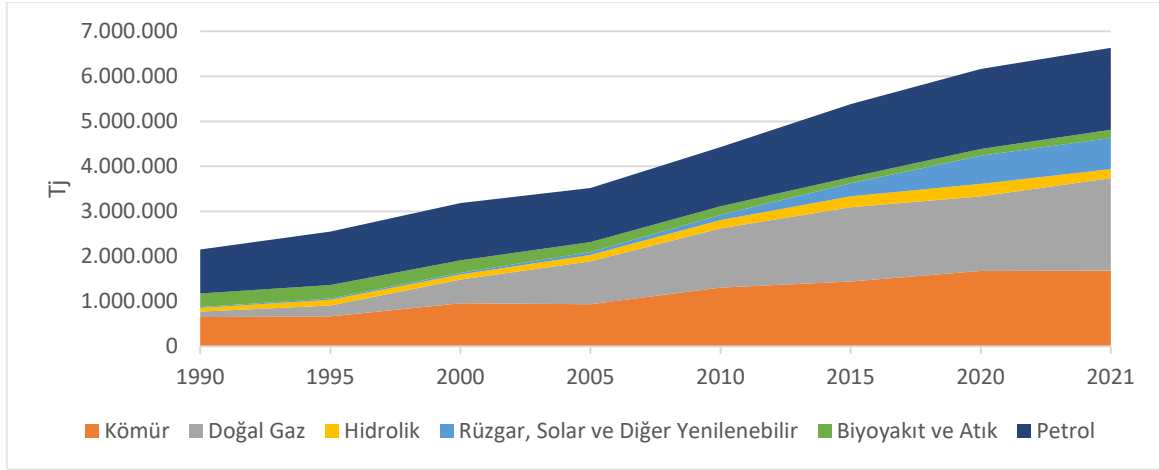
Diğer taraftan Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan Türkiye elektrik üretimi ve elektrik tüketim noktası emisyon faktörleri bilgi formu kapsamında Türkiye’de fosil yakıtlardan bir birim elektrik üretimi esnasında salınan emisyon miktarı **Tablo 1**’de [55] görülmektedir. Enerji sektörü içindeki sera gazı emisyonlarının başlıca nedeni olan fosil yakıtlar içinde sera gazı salımında en çok payı olan yakıt türleri kömür ve türevleridir.

Tablo 1. Türkiye için yakıtlara göre elektrik üretim emisyon faktörleri

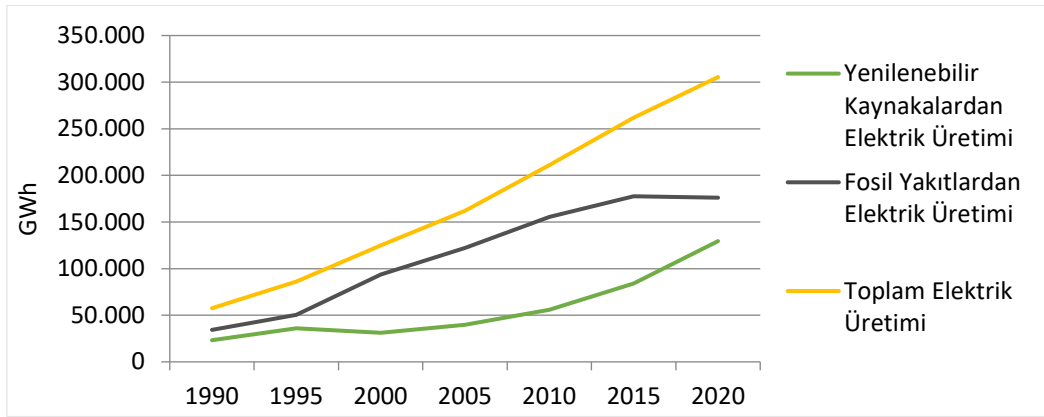
Yakıt Türü	Sera Gazı Salımı (tCO²-eşd./MWh)
Linyit	1,279
Taş Kömürü	1,100
Asfaltit	1,177
İthal Kömür	0,872
Doğal Gaz	0,376
Fuel Oil	0,644
Motorin	0,645

Mevcut durumda Türkiye’nin Kurulu gücü 103.809 MW’a ulaşmıştır. Kurulu güçteki en büyük pay 25 bin MW ile doğal gaz ve ardından 23 bin MW ile barajlı hidroelektrik santrallere aittir. Yenilenebilir enerjiye dayalı kurulu güç toplam kurulu gücün %54’ünü oluşturmaktadır. Elektrik üretiminde ise %64 oranıyla yine fosil yakıtlara bağımlı ülkeler arasındadır [56]. Enerji arzına bakıldığında ise %83 gibi büyük bir oranla fosil yakıtlara bağlı olduğu görülmektedir. (Şekil 8) Enerji arzında fosil yakıtların kullanımı her ne kadar artış eğiliminde olsa da elektrik üretiminde fosil yakıtların payı azalmakta ve yenilenebilir enerjinin payı artmaktadır. (Şekil 9)

2010 yılında Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Rusya Federasyonu Arasında Akkuyu Sahasında Bir Nükleer Güç Santralini Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşma” ve 2013 yılında Sinop Nükleer Santrali için Japonya ile nükleer santral yapımı ve iş birliğine ilişkin hükümetler arası anlaşma imzalanmıştır. 2018 yılında ilk temelleri atılan Akkuyu Nükleer Güç Santrali’nin ilk ünitesinin 2023 yılında devreye alınması planlanmaktadır [57].



Şekil 8. Türkiye için kaynak bazında enerji arzı [22]



Şekil 9. Yıllara göre Türkiye'nin elektrik üretimi [58]

Türkiye'nin enerji talebi her geçen yıl artmaktadır. 2011 yılında 229.395 GWh olan elektrik enerjisi talebi 2021 yılında %46 artarak 332.871 GWh'a ulaşmıştır [56]. Artan enerji talebini karşılarken yatırımların yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik olması yeşil enerji dönüşümünün sağlanabilmesi için şart olmuştur. Bu nedenle Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyelinin bilinmesi ve yatırım planlarına dahil edilmesi önem arz etmektedir. Coğrafi konumu ve iklim şartları göz önüne alındığında Türkiye güneşten ısı ve elektrik üretimi için avantajlı bir durumdadır. Güneş Enejisi Potansiyeli Atlası verilerine göre; Türkiye ortalama günlük güneşlenme süresi 7,5 saat/gün, günlük ortalama güneş enerjisi ise 4,18 kWh/m²'dir [59]. Yine tarımsal ve hayvansal faaliyetlerin yaygın olması nedeniyle biyokütle enerjisi yönünden avantajlı bir ülkedir. Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası tarafından yayımlanan verilere göre Türkiye'deki atıkların enerji eşdeğeri 34.002.549 TEP/yıl'dır [60]. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli 47.849 MW olarak belirlenmiştir. Bu potansiyele karşılık gelen toplam alan Türkiye yüz ölçümünün %1,3'una denk gelmektedir [61]. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok paya sahip olan hidrolik enerji kaynaklarının

yıllık teorik potansiyeli 433 milyar kWh, ekonomik potansiyel ise 160 milyar kWh/yıl’dır. Türkiye teorik hidroelektrik potansiyeli dünya teorik potansiyelinin %1’i, ekonomik potansiyeli ise Avrupa ekonomik potansiyelinin %16’sıdır [62]. Türkiye’nin muhtemel jeotermal ısı potansiyeli 35.500 MWt, elektrik üretimi için olan potansiyeli ise 4.500 MWe olarak tahmin edilmektedir [63].

Bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmek ve bu alandaki yatırımları artırmak amacıyla belirli teşvik mekanizmaları oluşturmuştur. Bunlardan ilki 2013 yılında yayımlanan ‘Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik’ kapsamında oluşturulan YEKDEM’dir. YEK destekleme mekanizması ile yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim lisansı olan tüzel kişilere belirli bir fiyat üzerinden 10 yıl boyunca sabit bir fiyattan alım garantisi verilmektedir [64]. YEKDEM, 31.12.2020 tarihinde bitecek şekilde tasarlanmıştır fakat daha sonra yapılan düzenleme ile 30.06.2021 tarihine kadar uzatma kararı alınmıştır. 20.01.2021 tarihinde resmî gazetede yayımlanan karar kapsamında ise 1 Temmuz 2021 ve 31 Aralık 2025 tarihleri arasında işletmeye girecek tesisler için destek mekanizması Türk Lirası olarak belirlenmiş olup alım fiyatları yine 10 yıl süre ile verilmesi kararlaştırılmıştır [65].

Yerli ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi, enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve enerjinin daha verimli kullanılmasını sağlama amacıyla 2016 yılında Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları Yönetmeliği (YEKA) yayımlanmıştır. YEKA alanları bölgenin enerji potansiyeli, kurulu güç potansiyeli ve ilgili alandaki kaynak verimliliği dikkate alınarak teknik ve idari çalışmalar neticesinde belirlenmektedir. İlk YEKA yarışması 2017 yılında düzenlenen Konya / Karapınar’da güneş enerjisine dayalı elektrik üretimini amaçlayan YEK GES-1’dir. 2018 yılında ise ilk rüzgâr YEKA ihalesi olan YEKA RES-1 düzenlenmiştir. YEKA kapsamında güneşte 3.000 MW, rüzgârda ise 2.850 MW olmak üzere 5.850 MW’lık yarışma tamamlanmıştır [66].

Türkiye enerji arzında yenilenebilir enerji kaynaklarının payını daha da artırarak 2022 Ulusal Enerji Planı kapsamında 2035 yılına kadar toplam kurulu gücü 189.7 GW’a, güneş enerjisinde 52,9 GW’a, rüzgâr enerjisinde 29,6 GW’a, nükleer enerjide 7,2 GW’a çıkmayı ve elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payını %54’e çıkarmayı hedeflemektedir [67]. Ayrıca 6 Eylül 2023 tarihinde yayımlanan 2024-2026 Orta Vadeli Program ile temiz ve sürdürülebilir enerji, enerji verimliliği, yeşil dönüşüm kapsamında sera gazı emisyonu azaltımı ve elektrifikasyon gibi konularda politika ve tedbirler açıklanmıştır. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji arzını artırmak, yerli ve milli enerji kaynaklarımız ile enerjide

dışa bağımlılığı azaltmak, nükleer enerjiyi arz kaynakları arasına eklemek, enerji alanında teknolojik gelişmeyi sağlayacak AR-GE faaliyetlerini desteklemek ve sürdürülebilir yeşil finansman sağlamak gibi hedeflerin altı çizilmiştir [68].

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim yıllar itibarıyla artış göstermiş, bu alana yatırımlar önem kazanmış ve Türkiye enerji alanında öncü rol üstlenmiştir. Bu kapsamda toplam yenilenebilir enerji kurulu gücüyle Avrupa’da altıncı, dünyada on dördüncü sırada yer almaktadır. Ayrıca Türkiye hidroelektrikte Avrupa’da ikinci dünyada dokuzuncu, jeotermal enerjide Avrupa’da birinci dünyada dördüncü, rüzgâr enerjisinde Avrupa’da yedinci dünyada on ikinci, güneş enerjisinde ise Avrupa’da sekizinci dünyada on altıncı sırada yer almaktadır.

Yine de **Tablo 2**’de [22] [69] ülkelerin toplam enerji arzında yenilenebilir enerjinin payı ve enerji sektörü kaynaklı karbondioksit salımı değişimi görülmektedir. 1990 ve 2021 yıllarında toplam enerji arzında yenilenebilir enerjinin payına bakıldığında Almanya, Fransa, Birleşik Krallık ve Danimarka’nın artış gösterdiği, Türkiye’nin ise düşüş yaşadığı görülmektedir. Ayrıca 1990 yılına kıyasla 2021 yılında karbondioksit değişimine bakıldığında yine Almanya, Fransa, Birleşik Krallık ve Danimarka’nın azaltım sağlayabilirken Türkiye’nin karbondioksit salımında artış gerçekleşmiştir. Enerji sektöründe karbondioksit salımı değişiminde tek etken yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı olmasa da Tablo 2 karbondioksit salımında azaltım sağlayabilen ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarının payını artırmayı başarabilen ülkeler olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 2. Ülkelerin toplam enerji arzında yenilenebilir enerjinin payı ve enerji sektörü kaynaklı karbondioksit salımı değişimi

Ülke	1990 Yılı Yenilenebilir Enerji Payı (%)	2021 Yılı Yenilenebilir Enerji Payı (%)	1990-2021 Yıllarında CO ₂ Değişimi (%)
Almanya	1,8	17	-40
Fransa	6,9	12,1	-26
Birleşik Krallık	0,5	13,9	-67
Danimarka	7,2	44	-72
Türkiye	18,8	16,2	+319

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji politikaları ülkelerin enerji talebi, enerji kaynak çeşitliliği, enerjide ithalat-ihracat dengeleri, ekonomik imkânlar gibi ulusal şartlarını göz önünde bulundurularak iklim eylemlerine entegre olarak geliştirilmektedir. Bu çalışmada yapılan analizler ülkelerin enerji sektöründe yapılan yasal düzenlemeler, geliştirilen stratejiler ve devlet tarafından verilen

teşvikler ile enerji sistemini karbondan arındırarak yeşil enerji dönüşümünü hızlandırmayı ve enerjinin verimli, güvenli ve temiz olarak teminini sağlamayı amaçladığını göstermektedir.

Türkiye yenilenebilir enerji alanında yıllar itibarıyla gelişim göstermiş ve yenilenebilir enerji kurulu gücüyle Avrupa’da altıncı, dünyada on dördüncü sırada yer alarak yenilenebilir enerji alanında iddialı olduğunu göstermiştir. Fakat Türkiye’nin yenilenebilir enerji potansiyeline rağmen yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji arzının hava şartları ve mevsimsel döngüler gibi dış etkenlerden etkilenmesi Türkiye’nin enerji dönüşümünün tam anlamıyla sağlanmasının önünde bir engel teşkil etmektedir. Bu noktada gün içinde yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli olduğu zamanlarda üretilen fazla enerjiyi depolayabilen enerji depolama sistemlerinin yaygınlaştırılması arz güvenliğinin sağlanması ve iklim değişikliğiyle mücadeleye katkı sağlanması adına en önemli çözümlerden biri olarak görülmektedir.

Diğer taraftan ilk olarak 2021 yılında Glasgow’da düzenlenen 26.Taraflar Konferansı’nda “unabated coal” olarak ifade edilen etkisi hafifletilmemiş kömür kullanımının kademeli olarak azaltılmasına yönelik çağrı yapılmış ve bu çağrı 2022 yılında Mısır’da gerçekleştirilen 27.Taraflar Konferansı’nda tekrarlanmıştır. Kömürün olumsuz etkilerini hafifletmek, kömürü kaynak olarak kullanan tesislere karbon yakalama, kullanma ve depolama sistemlerini entegre edilmesi mümkün olabilmektedir. Bu nedenle kömürün sebep olduğu karbondioksit salımı dikkate alındığında enerji arz güvenliğini ön planda tutarak kömürün enerji arzındaki payını azaltmak ve karbon yakalama, kullanma ve depolama sistemlerini yaygınlaştırarak kömürün olumsuz etkisini hafifletmek yeşil enerji dönüşümüne ivme sağlayacaktır.

Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının hâkim olduğu bir enerji sistemine geçişi hızlandıracak önemli noktalardan biri de bu alana yatırımı cazip hale getirmek amacıyla her türlü maliyeti düşürmektir. Yerli üretim teşvikleri, AR-GE çalışmalarına verilen destekler ve düşük karbonlu yenilenebilir enerji teknolojilerin geliştirilip uygulanabilmesi için sağlanan yeşil fonlar enerji dönüşüm sürecine önemli katkılar sağlayacaktır. Bu çalışmada, küresel iklim mücadelesi kapsamında, Türkiye’nin yeşil enerji dönüşümü olarak adlandırılan yenilenebilir enerji kaynaklarının artan kullanım oranları, Avrupa ülkeleri ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Ayrıca, yeşil enerji dönüşümü uygulamalarında seçilen bazı Avrupa ülkelerinin uyguladıkları yeşil enerji politikaların analizi yapılarak, Türkiye’nin mevcut enerji profili doğrultusunda Türkiye’de yeşil enerji dönüşümünü destekleyecek bazı öneriler verilmektedir. 6 Eylül 2023 tarihinde yayımlanan 2024-2026 Orta Vadeli Program ile temiz ve sürdürülebilir

enerji, enerji verimliliği, yeşil dönüşüm kapsamında sera gazı emisyonu azaltımı ve elektrifikasyon gibi konularda ortaya konan politika ve tedbirlerin, sonrasında özellikle yenilenebilir enerji alanındaki yeni somut ve kısa vadeli hedefler ve getirilecek teşvik mekanizmaları ile Türkiye’nin yeşil enerji dönüşümünde önemli rol oynaması beklenmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Çalışma, araştırma ve yayın etiğine uygundur.

Kaynakça

- [1] Ş. Kaçmaz ve H. Demirpolat, “Termik Santral Kaynaklı Çevre Kirliliğini Önlemek İçin Baca Gazı Arıtma Teknolojisi: Örnek Çalışma Seyitömer Termik Santrali Uygulaması,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, pp. 645-651, 2022.
- [2] P. C. Stern, B. K. Sovacool ve T. Dietz, “Towards a science of climate and energy choices,” *Nature Clim Change*, pp. 547-555, 2016.
- [3] R. York ve E. S. Bell, “Energy transitions or additions?: Why a transition from fossil fuels requires more than the growth of renewable energy,” *Energy Research & Social Science*, pp. 40-43, 2019.
- [4] World Resources Institute, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors>.
- [5] IEA, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-co2-emissions-in-2021-2>.
- [6] N. Karabağ, C. B. Çobanoğlu Kayıkcı ve A. Öngen, “%100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş Yolunda Dünya ve Türkiye,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, pp. 230-240, 2021.
- [7] M. S. Özdemir, A. Dalcalı ve C. Ocak, “Akarsu Tipi Hidroelektrik Santraller ve Bu Santrallerde Kullanılan Türbin Generatörler,” *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, pp. 69-75, 2020.

- [8] G. Kütükcü ve M. Yalılı, “Deniz Üstü Rüzgar Enerji Santrali Projelerinde Ülke Uygulamalarının İncelenmesi ve Türkiye İçin Öneriler,” *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi* , pp. 1-21, 2022.
- [9] N. Alizada, “Yeşil Enerji Bağlamında Karabağ'ın Enerji Potansiyeli,” *Avrasya İncelemeleri Dergisi*, pp. 1-15, 2022.
- [10] IRENA, 2022, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.irena.org/Digital-Report/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>.
- [11] Enel Green Power, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.enelgreenpower.com/learning-hub/energy-transition>.
- [12] A. Z. A. Shaqsi, K. Sopian ve A. Al-Hinai, “Review of energy storage services, applications, limitations, and benefits,” *Energy Reports*, pp. 288-306, 2020.
- [13] IEA, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/carbon-capture-utilisation-and-storage>.
- [14] C. Greig ve S. Uden, “The value of CCUS in transitions to net-zero emissions,” *The Electricity Journal*, 2021.
- [15] L. Rosa ve M. Mazzotti, “Potential for hydrogen production from sustainable biomass with carbon capture and storage,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022.
- [16] European Commission, 2018. [Çevrimiçi]. Available: <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/can-we-produce-enough-green-hydrogen-save-world>.
- [17] European Commission, 2020. [Çevrimiçi]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>.
- [18] IRENA, 2022. [Çevrimiçi]. Available: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_2022.pdf.
- [19] M. B. Pietrzak, M. Olczyk ve M. E. “Kuc-Czarnecka, Assessment of the Feasibility of Energy Transformation Processes in European Union Member States,” *Energies*, 2022.
- [20] K. Chudy-Laskowska ve T. Pisula, “An Analysis of the Use of Energy from Conventional Fossil Fuels and Green Renewable Energy in the Context of the European Union's Planned Energy Transformation,” *Energies*, 2022.
- [21] Ç. Cengiz ve E. Kutlu, “The Budget of The European Union and Green Energy: Perceptions, Actions, and Challenges,” *International Journal of Social Inquiry*, pp. 171-197, 2021.
- [22] IEA, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.iea.org/countries>.

- [23] BMWK, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2022/20220111-habeck-presents-germanys-current-climate-action-status-need-to-triple-the-rate-of-emission-reductions.html>.
- [24] J. Markard, A. Rinscheid ve L. Widdel, “Analyzing transitions through the lens of discourse networks: Coal phase-out in Germany,” *Environmental Innovation and Societal Transitions*, pp. 315-331, 2021.
- [25] Library of Congress, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.loc.gov/item/global-legal-monitor/2020-08-31/germany-law-on-phasing-out-coal-powered-energy-by-2038-enters-into-force/>.
- [26] Clean Energy Wire, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.cleanenergywire.org/news/german-coal-region-brings-coal-phase-out-forward-2030-refires-lignite-short-term>.
- [27] World Nuclear Association, 2020. [Çevrimiçi]. Available: <https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/energiewende.aspx>.
- [28] IEA, 2020. [Çevrimiçi]. Available: https://iea.blob.core.windows.net/assets/60434f12-7891-4469-b3e4-1e82ff898212/Germany_2020_Energy_Policy_Review.pdf.
- [29] B. E. Lebrouhi, E. Schall, B. Lamrani, Y. Chaibi ve T. Kousksou, Energy Transition in France, Sustainability, 2022.
- [30] EurObserv'ER, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.eurobserv-er.org/policy-and-statistic-reports/>.
- [31] Grantham Research Institute, 2015. [Çevrimiçi]. Available: <https://climate-laws.org/geographies/france/laws/law-no-2015-992-on-energy-transition-for-green-growth-energy-transition-law>.
- [32] The High Council on Climate, 2022.
- [33] Europe Beyond Coal, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://beyond-coal.eu/europes-coal-exit/>.
- [34] Carbon Brief Clear on Climate, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.carbonbrief.org/the-carbon-brief-profile-france/>.
- [35] Ministère de la Transition énergétique, 2020. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.ecologie.gouv.fr/publication-strategie-francaise-lenergie-et-climat-france-confirme-engagement-vers-societe-neutre-en>.

- [36] Grantham Research Institute, 2020. [Çevrimiçi]. Available: <https://climate-laws.org/geographies/france/policies/decreed-no-2020-456-relating-to-multi-year-energy-programming>.
- [37] J. Nieto, H. Pollitt, P. E. Brockway, L. Clements, M. Sakai ve J. Barrett, “Socio-macroeconomic impacts of implementing different post-Brexit UK energy reduction targets to 2030,” *Energy Policy*, 2021.
- [38] G. Bang, K. E. Rosendahl ve C. Böhringer, “Balancing cost and justice concerns in the energy transition: comparing coal phase-out policies in Germany and the UK,” *Climate Policy*, 2022.
- [39] Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2021. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.gov.uk/government/news/end-to-coal-power-brought-forward-to-october-2024>.
- [40] Committee on Climate Change, The Sixth Carbon Budget The UK's path to Net Zero, 2020. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2020/12/The-Sixth-Carbon-Budget-The-UKs-path-to-Net-Zero.pdf>.
- [41] U. Yücel, E. Özdemir ve M. Ayaz, “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Üretilen Elektrik Enerjisi Teşvik Yöntemlerinin İncelenmesi,” *Bilim ve Teknoloji Dergisi*, pp. 774-790, 2021.
- [42] The Clean Growth Strategy, 2017. [Çevrimiçi]. Available: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/700496/clean-growth-strategy-correction-april-2018.pdf.
- [43] Net Zero Strategy: Build Back Greener, 2021. [Çevrimiçi]. Available: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1033990/net-zero-strategy-beis.pdf.
- [44] M. J. Wolf, J. W. Emerson, D. C. Esty, A. d. Sherbinin ve Z. A. Wendling, “Environmental Performance Index,” *Yale Center for Environmental Law & Policy*, 2022.
- [45] Denmark's Climate Status and Outlook, Danish Energy Agency, Copenhagen, 2021.
- [46] K. Johansen, “Blowing in the wind: A brief history of wind energy and wind power technologies in Denmark,” *Energy Policy*, 2021.
- [47] Denmark's Climate and Energy Outlook, Danish Energy Agency, Denmark, 2020.
- [48] Ministry of Foreign Affairs of Denmark, 2018. [Çevrimiçi]. Available: <https://investindk.com/insights/new-ambitious-danish-energy-agreement>.
- [49] IEA, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.iea.org/countries/denmark>.

- [50] Danish Energy Agency, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://ens.dk/en/our-responsibilities/wind-power/energy-islands/denmarks-energy-islands>.
- [51] ÇŞİDB, [Çevrimiçi]. Available: <https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587>.
- [52] A. DEMİR, “Paris anlaşması ve 26. Taraflar Konferansı (COP 26)’nda Türkiye değerlendirmesi,” *Biological Diversity and Conservation*, pp. 162-170, 2022.
- [53] Yeşil Mutabakat Eylem Planı, 2021. [Çevrimiçi]. Available: <https://ticaret.gov.tr/data/60f1200013b876eb28421b23/MUTABAKAT%20YE%C5%9E%C4%B0L.pdf>.
- [54] UNFCCC, 2022. [Çevrimiçi]. Available: https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/The_INDC_of_TURKEY_v.15.19.30.pdf.
- [55] ETKB, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/EVCED/tr/%C3%87evreVe%C4%B0klim/%C4%B0klimDe%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi/EmisyonFaktorleri/BilgiFormu.pdf>.
- [56] TEİAŞ, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>.
- [57] ETKB, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-nukleer-enerji>.
- [58] IEA, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.iea.org/countries/turkiye>.
- [59] GEPA, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>.
- [60] BEPA, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://bepa.enerji.gov.tr/>.
- [61] ETKB, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar>.
- [62] ETKB, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik>.
- [63] ETKB, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal>.
- [64] EPDK, 2013. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-6736/yenilenebilir-enerji-kaynaklarinin-belgelendirilm>.
- [65] Bosca Law, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://bosca.av.tr/yeni-yekdem-ve-yerli-katki-fiyatları-uygulama-sureleri-ve-guncellenme-esaslari>.
- [66] ETKB, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-uretim-faaliyetleri-yeka-modeli>.
- [67] Ulusal Enerji Planı, 2022. [Çevrimiçi]. Available: https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf.

Reyhan Bilgin PAK, Engin ÖZDEMİR, “Küresel İklim Mücadelesi Ekseninde Türkiye’nin Yeşil Enerji Dönüşümüne Genel Bir Bakış”, Yekarum e-Dergi, 8 / 2 (2023) 32-53

[68] SBB, Orta Vadeli Program 2024-2026, 2023. [Çevrimiçi]. Available: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/09/Orta-Vadeli-Program_2024-2026.pdf.

[69] European Commission, 2021. [Çevrimiçi]. Available: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2022.

[70] A. A. Kurucu, “Yeşil Enerji: Türkiye’nin Potansiyelinin ve Uygulamalarının Avrupa’dan Örneklerle Karşılaştırılması”, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, 2015.

[71] YEK Kanunu, Resmi Gazete, 25819, 2005.



Süleyman Demirel Üniversitesi
YEKARUM e-DERGİ
(Journal of YEKARUM)



Cilt 8 , Sayı 2 , 54-66 , 2023
E - ISSN:1309-9388

**Energy Efficiency Applications in Electric Motors:
A Case Study for Kastamonu Entegre Co,
Adana MDF Facility**

Ergün KORKMAZ^{1*}, Harun TORUN²

^{1*} Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0565-5914),
ergunkorkmaz@isparta.edu.tr

² Balıkesir Yonga Levha Tesisi, Balıkesir, Türkiye, (ORCID: 0009-0003-1396-9101), hrntrn06@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 04/11/2023 ve Kabul Tarihi 12/11/2023)

ABSTRACT:

36% of the electrical energy consumed in Turkey is used by asynchronous motors, which are widely used in the industry. When considering industrial electricity consumption, it is observed that the share of electric motors in consumption reaches around 70%. Considering the rapid depletion of fossil fuels, which have a significant share in the energy supply, and the environmental problems caused by these sources, the efficiency and savings potential of electric motors, which use energy so intensely, is important.

In this study, according to the ISO 500 data of 2019, Kastamonu Particle Board Plant (Kastamonu Entegre Co), which ranks 46th among the largest industrial establishments in Turkey, is used in Adana MDF Facility, B1 group 18.5 kW, B2 group 15 kW and F1 group the energy saving potentials provided by the 315 kW IE2 efficiency class motors in case they are upgraded to the IE3 class are calculated and payback periods are presented. According to this, the energy saving provided by the B1 group motor is 1923 kWh/Year (119 \$/Year), and the payback period is 5,01 years. In the B2 group motor, the energy saving provided is 2340 kWh/Year (145 \$/Year), and the payback period is 3,95 years. On the other hand, the energy savings achieved in the F1 group motor is 18815 kWh/Year (1167 \$/Year), and the payback period is determined as 8,68 years.

Keywords: *Electric motors, Energy efficiency, Efficiency class*

**Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliği Uygulamaları:
Kastamonu Entegre A.Ş., Adana MDF Tesisi Örneği**

ÖZET

Türkiye'de tüketilen elektrik enerjisinin %36'sı, endüstride yaygın olarak kullanılan asenkron motorlar tarafından tüketilmektedir. Sanayi elektrik tüketimine bakıldığında ise elektrik motorlarının payının %70 mertebelerine çıktığı görülmektedir. Fosil yakıtların hızla tükenmekte olması ve enerji arzında önemli bir paya sahip olan bu kaynakların neden olduğu çevresel sorunlar göz önüne alındığında, enerjiyi yoğun bir şekilde kullanan elektrik motorlarının verimliliği ve tasarruf potansiyeli önemlidir.

* Corresponding author E-mail: ergunkorkmaz@isparta.edu.tr

Bu çalışmada, 2019 yılı ISO 500 verilerine göre Türkiye'nin en büyük sanayi tesisleri arasında 46. sırada yer alan Kastamonu Parça Levha Tesisi (Kastamonu Entegre AŞ), Adana MDF Tesisinde kullanılan B1 grubu 18.5 kW, B2 grubu 15 kW ve F1 grubu 315 kW IE2 verimlilik sınıfı motorlarının IE3 sınıfına yükseltilmesi durumunda sağlanan enerji tasarruf potansiyelleri hesaplanmış ve geri ödeme süreleri sunulmuştur. Buna göre, B1 grubu motor tarafından sağlanan enerji tasarrufu yılda 1923 kWh (119 \$/Yıl) ve geri ödeme süresi 5,01 yıl olarak hesaplanmıştır. B2 grubu motorla elde edilen enerji tasarrufu yılda 2340 kWh (145 \$/Yıl) ve geri ödeme süresi 3,95 yıl olarak belirlenmiştir. Diğer yandan, F1 grubu motorla elde edilen enerji tasarrufu yılda 18815 kWh (1167 \$/Yıl) ve geri ödeme süresi 8,68 yıl olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrik motorları, Enerji verimliliği, Verimlilik sınıfı

1. INTRODUCTION

36% of the electrical energy consumed in Turkey is used by asynchronous motors, which are widely used in the industry. Examining industrial electricity consumption reveals that the portion attributed to electric motors has surged to around 70%. Considering the rapid depletion of fossil fuels, which have a significant share in the energy supply, and the environmental problems caused by these sources, the efficiency and savings potential of electric motors, which use energy so intensely, is important. The present usage of electric motors predominantly comprises asynchronous motors, accounting for approximately 90% of the total. Consequently, prioritizing the use of high-efficiency motors becomes imperative in curtailing the efficiency losses inherent in industrial asynchronous motor operations [1].

Electric motors use electrical energy to generate power. The ratio of the mechanical power they produce to the power drawn from the network or system is defined as motor efficiency. Motor losses can be grouped as body losses, stator resistance, rotor resistance, friction, and other mechanical losses (Figure 1) [2].

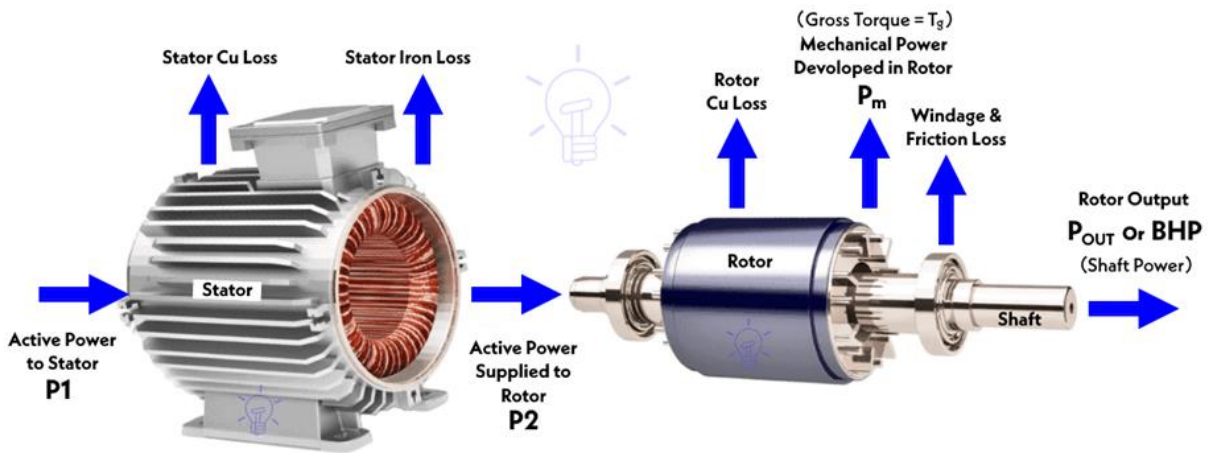


Figure 1. Losses in an Electric Motors [3]

Along with technological developments, motors used in almost every field have been developed, and the amount of lost energy in motors has been reduced and made more efficient. The use of higher-quality metal materials in the stator part, the reduction of magnetic stress, larger cores, improved bearings and fans with fewer losses, and reduced winding resistances contribute to a smaller difference between the input and output power (Figure 2).

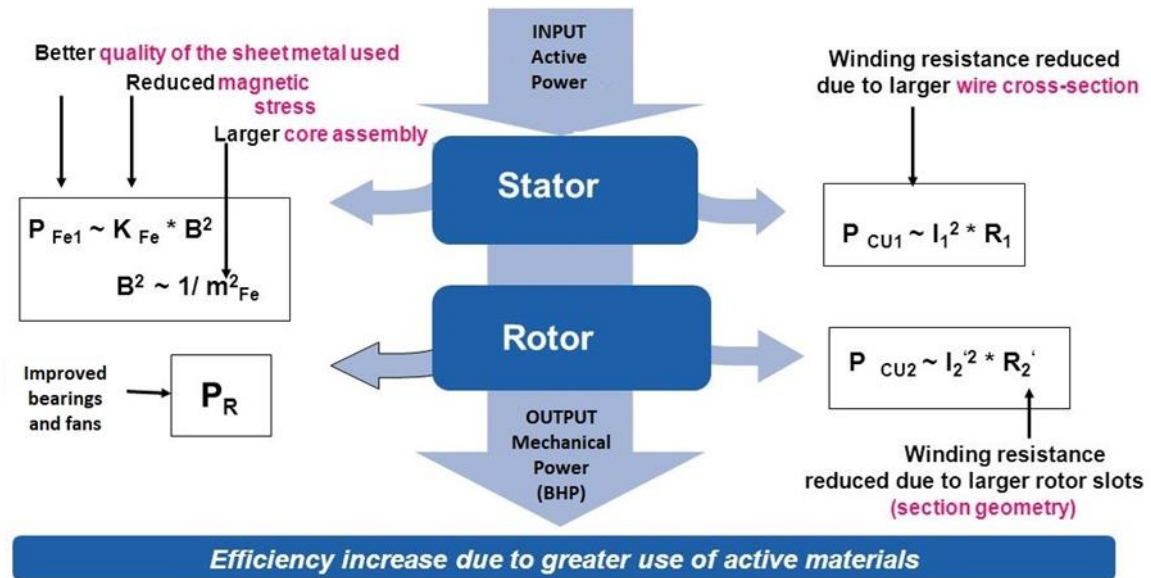


Figure 2. Efforts to increase efficiency in electric motors [4]

The European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics (CEMEP) and the National Electric Manufacturers Association (NEMA) have made motor efficiency classifications. Today, electric motors have been diversified to respond to different working conditions, and these products have been classified with international standards. Electric motor manufacturers offer electric motors to the market within the framework of accepted standards, and regulations are made on frame dimensions and working conditions. According to the worldwide accepted IEC 60034-30-1 electric motor standards, electric motors between 0.12 and 1000 kW brake horsepower are classified with IE codes according to their efficiency [5].

- IE1 - Standard Efficiency,
- IE2 - High Efficiency,
- IE3 - Premium Efficiency and
- IE4 - Super Premium Efficiency
- IE5 - Ultra Premium Efficiency

The comparison of the newly determined standards with other standards is shown in Figure 3.

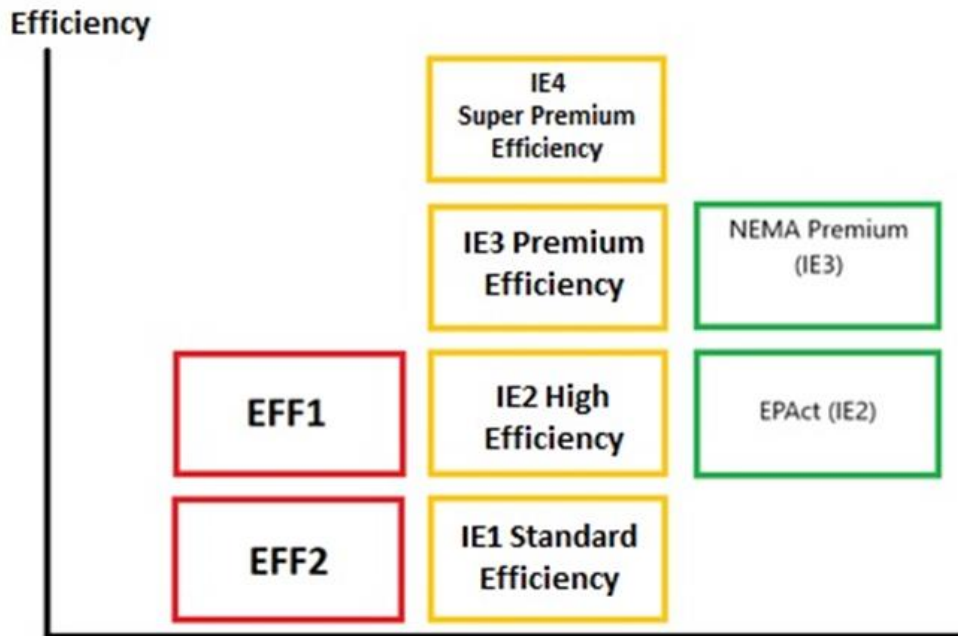


Figure 3. Comparison of electric motors Efficiency class standards

Work has been done with the National Electricity Manufacturers Association (NEMA) in preparing the Energy Stability and Safety Act (EISA) approved by the EU in 2007 and the binding provisions on energy efficiency in electric motors. In the studies, regulations have been proposed to optimize electric motors for general and private use, low-efficiency electric motor systems, and to be more environmentally sensitive [5]. The mentioned standards started to be legally implemented in Europe on all induction motors with 2, 4, and 6 poles, up to 1000 V, 50/60 Hz, 0.75 to 375 KW, as of 16.06.2011 [4].

The transition process related to reducing the negative effects of these regulations on industrial enterprises and facilitating the transition to new regulations was carried out with a certain time planning [5]. After the implementations, as of January 1, 2015, motors under IE3 efficiency class were planned to be withdrawn from the market, while the use of IE2 efficiency class motors was stipulated to be used only with adjustable speed drives [6]. In Turkey, as a result of the studies carried out, the IEC 60034-30-1 standard, published in 2009, entered into force after 2010 [7]. This standard was revised again in 2012 [8] and 2014 [9] after the updates made in the original standard and took its final form in use today.

Since the world's energy demand is predicted to double by 2050, environmental concerns have increased, and it has become inevitable to make regulations to increase energy efficiency worldwide [5]. As can be seen in Figure 4, the energy demand in Turkey has been increasing exponentially since 1970.

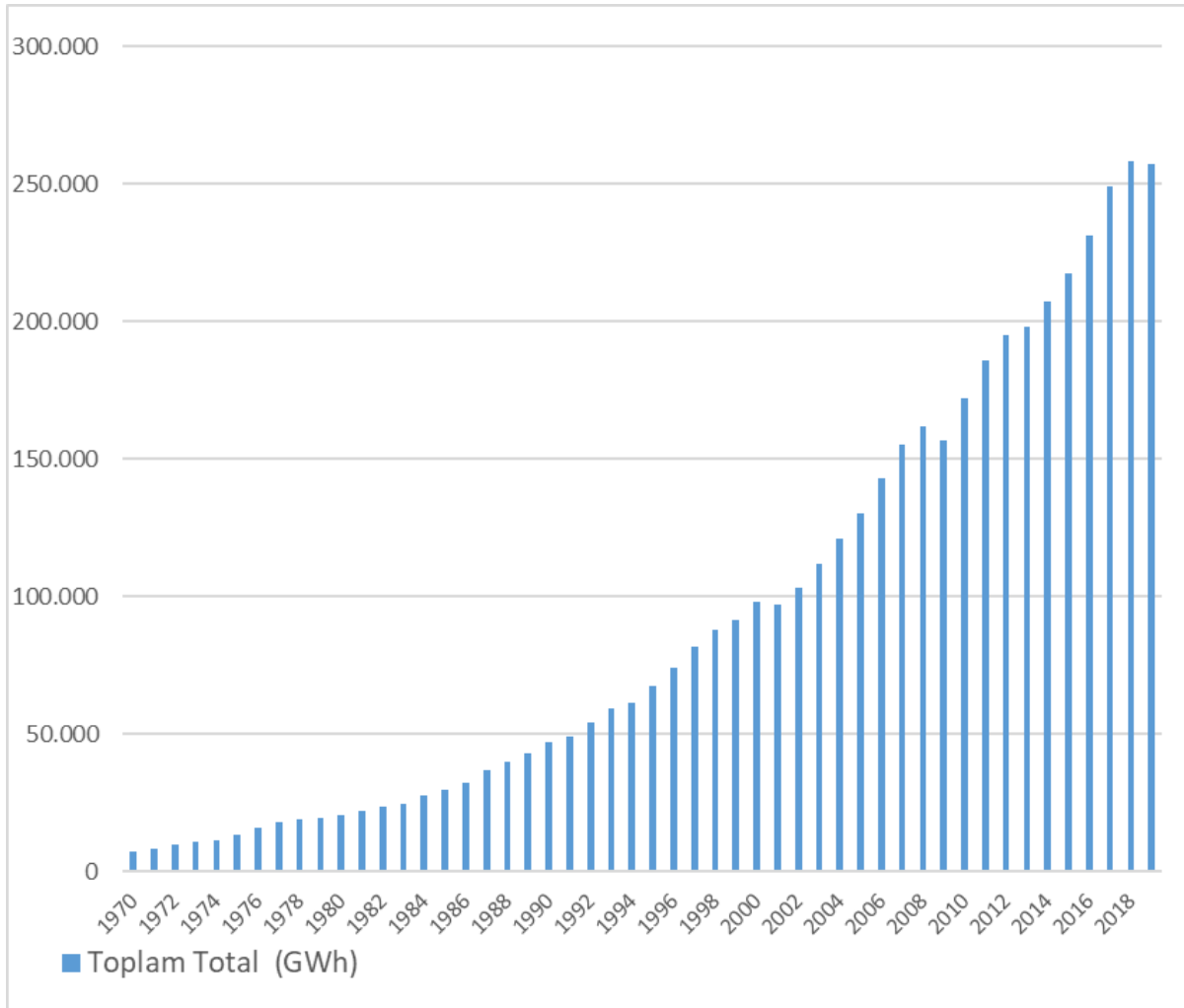


Figure 4. Türkiye Net electricity consumption by years [10]

Figure 5 and Figure 6 show the efficiency percentages of motors with different powers and pole numbers in IE1, IE2, and IE3 efficiency classes. As the rated power of the motor increases, the difference between the efficiency classes gradually decreases, but the gain should not be underestimated as the energy consumed also increases with the rated power. Due to the effort to keep the installation cost low during the establishment or overhaul of the plant, the motor efficiency class is the first to be overlooked. Although ignored, this step will return the business to a profit in the long run. Increasing electricity prices will also shorten this period.

P (kW)	IE1, 50 Hz			IE2, 50 Hz			IE3, 50 Hz		
	2 K	4 K	6 K	2 K	4 K	6 K	2 K	4 K	6 K
0.75	72.1	72.1	70.0	77.4	79.6	75.9	80.7	82.5	78.9
1.1	75.0	75.0	72.9	79.6	81.4	78.1	82.7	84.1	81.0
1.5	77.2	77.2	75.2	81.3	82.8	79.8	84.2	85.3	82.5
2.2	79.7	79.7	77.7	83.2	84.3	81.8	85.9	86.7	84.3
3	81.5	81.5	79.7	84.6	85.5	83.3	87.1	87.7	85.6
4	83.1	83.1	81.4	85.8	86.6	84.6	88.1	88.6	86.8
5.5	84.7	84.7	83.1	87.0	87.7	86.0	89.2	89.6	88.0
7.5	86.0	86.0	84.7	88.1	88.7	87.2	90.1	90.4	89.1
11	87.6	87.6	86.4	89.4	89.8	88.7	91.2	91.4	90.3
15	88.7	88.7	87.7	90.3	90.6	89.7	91.9	92.1	91.2
18.5	89.3	89.3	88.6	90.9	91.2	90.4	92.4	92.6	91.7
22	89.9	89.9	89.2	91.3	91.6	90.9	92.7	93.0	92.2
30	90.7	90.7	90.2	92.0	92.3	91.7	93.3	93.6	92.9
37	91.2	91.2	90.8	92.5	92.7	92.2	93.7	93.9	93.3
45	91.7	91.7	91.4	92.9	93.1	92.7	94.0	94.2	93.7
55	92.1	92.1	91.9	93.2	93.5	93.1	94.3	94.6	94.1
75	92.7	92.7	92.6	93.8	94.0	93.7	94.7	95.0	94.6
90	93.0	93.0	92.9	94.1	94.2	94.0	95.0	95.2	94.9
110	93.3	93.3	93.3	94.3	94.5	94.3	95.2	95.4	95.1
132	93.5	93.5	93.5	94.6	94.7	94.6	95.4	95.6	95.4
160	93.8	93.8	93.8	94.8	94.9	94.8	95.6	95.8	95.6
200-375	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8

Figure 5. EU 640/2009 and IEC 60034-30:2008 IE European and International motor efficiency standards [11]

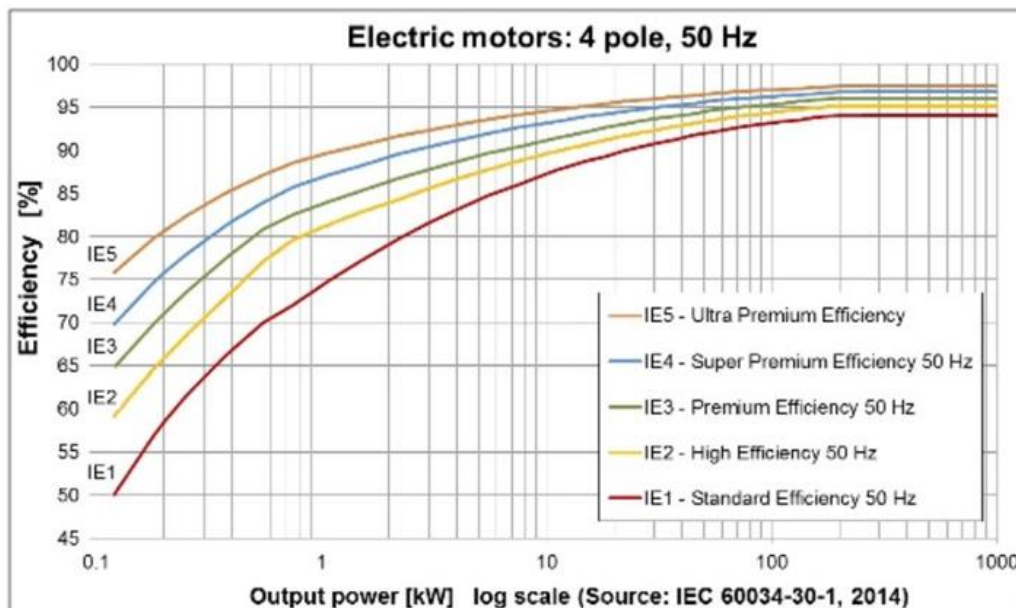


Figure 6. International standard efficiency level curves (IE-code) [9]

2. MATERIALS and METHODS

The first step in energy saving is the selection of suitable equipment. Mains values (supply voltage, number of phases, mains frequency), operation regime of the motor (such as continuous or interrupted operation), protection class of the motor, number of motor poles, rated motor power, rated torque of the motor, type of motor structure, environment according to the place to be used. The motor's physical conditions and efficiency class are the main topics to be considered in the motor selection. Each of the titles mentioned above effectively saves energy from the motor.

In this study, the Adana MDF facility, one of the 11 Kastamonu Entegre Co. that started operations in 2011, has been considered an exemplary model. Kastamonu Particle Board Plant (Kastamonu Entegre Co), established in 1969, produces wood-based boards, and with a consolidated turnover of 1.3 billion dollars, it ranks 1st in Turkey, 4th in Europe, and 6th in the world. It is the leader in the sector with its exports to more than 100 countries and ranks 46th among the largest industrial establishments in Turkey, according to the 2019 ISO 500 data [12].

In the motor efficiency calculations in the Kastamonu Entegre Co., Adana MDF facility, the instantaneous currents drawn by the motors were measured, and hourly consumption values were found, and accordingly, the load factors of the motors were determined. As the power increases in the motors, the efficiency increases, and the motor efficiency usually reaches the maximum level at 75% load. Depending on the condition of each motor, the load factor varies. Therefore, the actual consumption values of the motors used in the calculations are based on an average production capacity. For a three-phase asynchronous motor, the power can be found by the expression (1) depending on the phase-to-phase angle (φ), the mains voltage (U), and the current drawn from the mains (I).

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\varphi \quad (1)$$

The load factor (LF) can be obtained from the expression (2) depending on the motor nameplate power (P_m).

$$LF = \frac{P}{P_m} \quad (2)$$

The Annual Energy Savings (AES) to be obtained due to the efficiency difference between the high-efficiency motor (IE2) and the Premium-efficiency motor (IE3) are expressed with the expression (3).

$$AES = P_m \times LF \times AOH \times \left[\frac{1}{CME} - \frac{1}{NME} \right] \quad (3)$$

Here, AES represents the Annual Energy Savings (kWh/Year), P_m denotes the Motor Nameplate Power (kW), LF is the Load factor, AOH is the Annual Operating Hours (h), CME is the Current Motor Efficiency (%), and NME represents the New Motor Efficiency (%). The energy cost used in the facility is billed as 0.062 \$/kWh [13], and the savings from the annual electricity bill can be obtained from the expression (4).

$$AEFV = AES \times EUP \quad (4)$$

Here, AEFV represents the Annual Energy Financial Value, AES denotes the Annual Energy Savings (kWh/Year), and EUP signifies the Energy Unit Price (\$/kWh). The payback period (PP) can be determined with the help of the expression (5).

$$PP = \frac{NMP}{AES} \quad (5)$$

Here, NMP represents the New Motor Price. Figure 7, Figure 8, and Figure 9 show the characteristics of the IE2 efficiency class motors used in the Kastamonu Entegre Co., Adana MDF Facility, with a power of 18.5 kW in the B1 group, 15 kW in the B2 group, and 315 kW in the F1 group. Table 1 shows the annual energy consumption and energy costs of B1, B2, and F1 group motors.

Table 1. Characteristics of the considered IE2 motors

Motor Code	Motor Power P_m (kW)	Power Factor (Cos ϕ)	Motor Current (Amps)	Operating Time (hours)	Efficiency IE2	P (kW)	Load Factor	Annual Energy Consumption (kWh/Year)	Annual Energy Cost (\$/Year)
B1	18,5	0,87	18	8200	90,3	10,84	0,586	88.861	5509
B2	15	0,86	16,5	8200	89,7	9,82	0,655	80.520	4992
F1	315	0,87	350	8250	95,7	210,96	0,67	1.740.400	107905

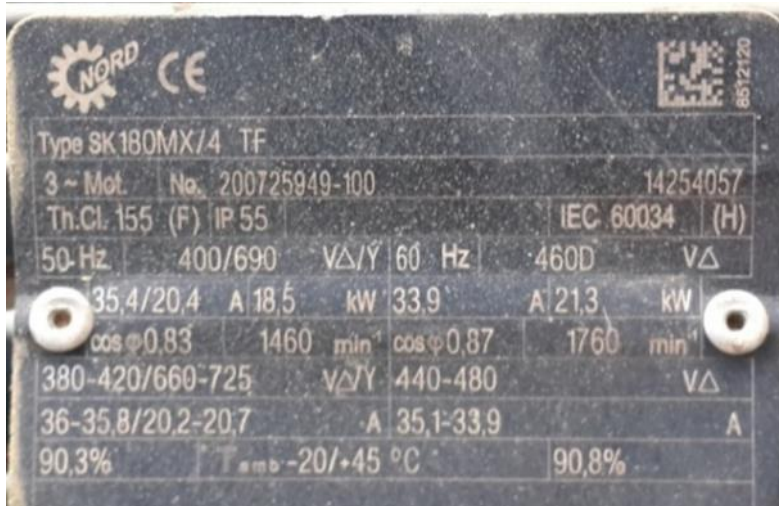


Figure 7. B1 group motor nameplate

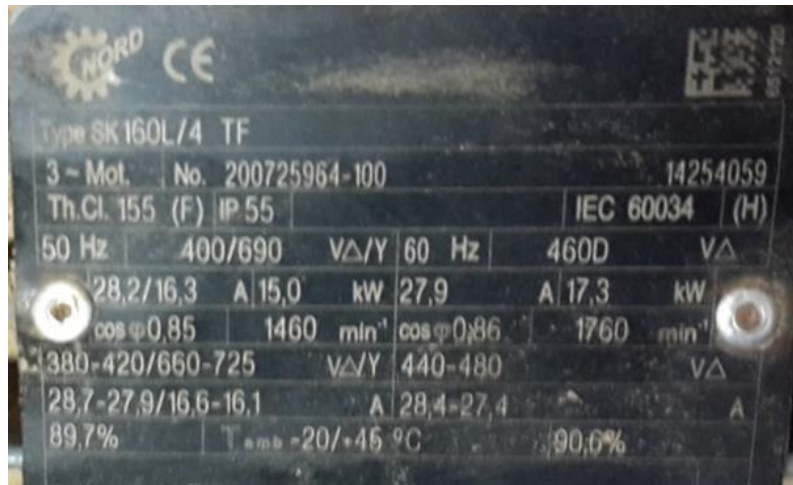


Figure 8. B2 group motor nameplate

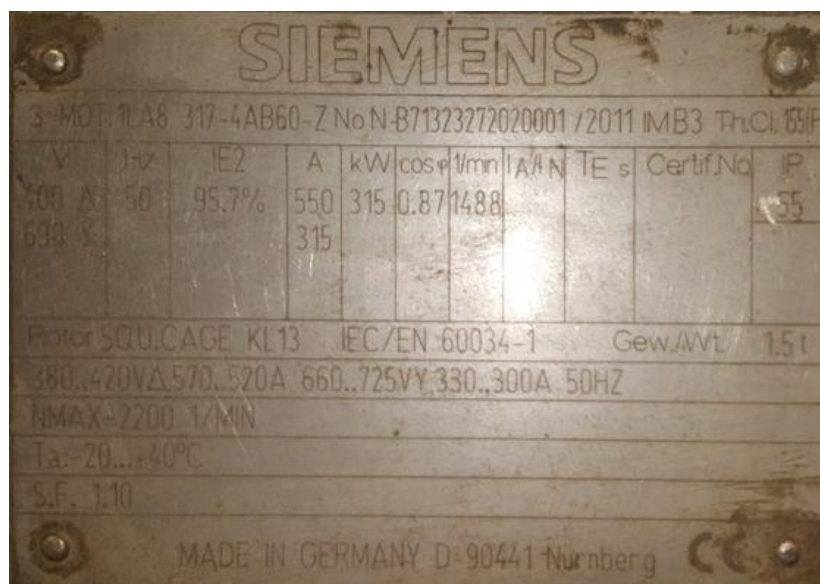


Figure 9. F1 group motor nameplate

3. FINDINGS

Most of the motors in the plant are in efficiency class IE2 and are controlled by the power control unit. The transition to motors in efficiency classes IE3 or IE4 is planned gradually. There are various motors in the facility with high powers, such as 9000 kW, 2200 kW, and 900 kW and powers such as 22.5 kW, 18.5 kW, and 0.75 kW.

The facility consists of 2 main production sections consisting of different lines. The motors considered in the study were selected from those commonly used throughout the facility. The wood chips cut into pieces in the wood shredding department are transferred to the silos where they are stored, and from there, they are transported to the fibering department in a tonnage determined according to the amount of production. This transport process is carried out by 2 conveyor belts that continue each other and two motors with 15 kW and 18.5 kW power that provide the movement of each of these belts. After the fibering process, the fibers dried with hot air are separated according to their sizes with the help of air. There are 2 fan motors with a power of 315 kW that provide airflow in this section. The current values drawn by the motors during operation at average capacity were measured, and the load factors of the motors were calculated. The gains and the payback periods of the motors whose efficiency class has been changed are shown in Table 2.

Table 2. The gains and payback periods provided by the motors whose efficiency class has been changed

Motor Code	Motor Power Pm (kW)	Operating Time (hours)	Efficiency IE3	Load Factor	Annual Energy Savings (kWh/Year)	Annual Savings (\$)	IE3 Motor Price (\$)	Payback Period for Current Working Conditions (Years)	Payback Period for 75% Load Factor Conditions (Years)
B1	18,5	8200	92,1	0,586	1.923	119	598	5,01	3,91
B2	15	8200	92,1	0,655	2.340	145	573	3,95	3,45
F1	315	8250	96,7	0,67	18.815	1.167	10122	8,68	7,75

Figure 10 shows that after the B1 group 18.5 kW electric motor is replaced with IE3 motor, it will provide an annual energy saving of 1923 kWh, and the payback period will be 5,01 years. After the B2 group 15 kW electric motor is replaced with an IE3 motor, it is seen that it will save 2340 kWh annually, and the payback period will be 3.95 years. It is seen that after the replacement of the 315 kW electric motor of the F1 group with the IE3 motor, an annual energy saving of 18815 kWh will be achieved, and the payback period will be 8.68 years. The replaced motors' scrap costs were not considered in the calculations.

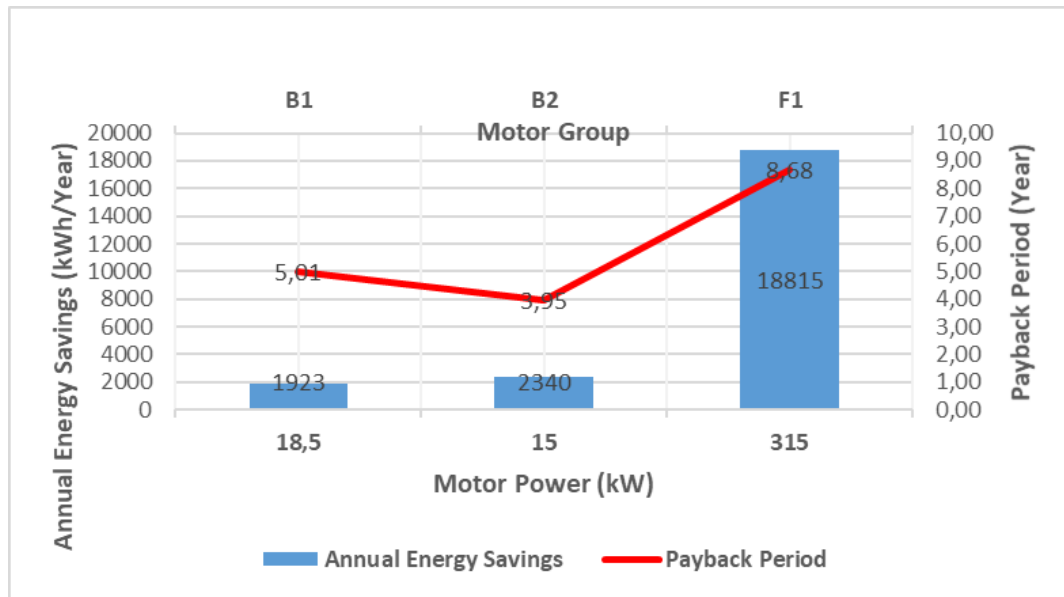


Figure 10. Energy savings and payback periods of motors replaced with IE3 efficiency class

As an alternative scenario, if these calculations are made by considering the 75% load factor, The payback period of the B1 group (18.5 kW) electric motor will be 3,91 years, the B2 group (15 kW) electric motor will be 3,45 years, and the F1 group (315 kW) electric motor will be 7,75 years, respectively.

4. RESULTS

In this study, 2 belt motion motors were examined for an energy efficiency project example, and the amount of savings, financial compensation, and payback periods were calculated for each motor.

Suppose the B1-coded motor with IE2 efficiency class is replaced with an IE3 efficiency class motor. In that case, the energy saving is 1923 kWh/Year, its financial equivalent is 119 \$/Year, and the payback period is 5,01 years. The energy saving in the B2-coded motor is 2340 kWh/Year, its financial equivalent is 145 \$/Year, and the payback period is 3,95 years. In the F1-coded motor, the energy saving is 18815 kWh/Year, the financial equivalent is 1167 \$/Year, and the payback period is 8,68 years. While calculating the payback periods, the replaced scrap pumps' profit is not considered.

Notably, the amortization periods are longer when compared to the studies conducted for different conditions in the literature. Although periods longer than 5 years are not preferred for depreciation periods, it can be evaluated that this situation results from both the change in

the efficiency of the motors depending on the load factors and the decrease in the efficiency difference, especially between the motors with high power.

Acknowledgement

We thank the Kastamonu Entegre Co. Adana MDF Facility officials for their support and contribution to the completion of this study.

Conflict of Interest Declaration

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The study complies with research and publication ethics.

REFERENCES

- [1] Ener Ruşen, S., Koç, M. (2018). Bir Fabrikada Elektrik Motorlarının Verimlilik Sınıflarının İncelenmesi. *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON-2018)*, Bildiriler Kitabı, Kocaeli, Türkiye, pp. 630-632 (In Turkish).
- [2] EIE, 2012. General Directorate of Electrical Power Resources Survey & Development Administration (EIE), Energy Efficiency Report. (In Turkish)
- [3] Electricaltechnology.org (2023). Losses in an Induction Motor – Power Stages in Asynchronous Motor. [Online]. Available: (<https://www.electricaltechnology.org/2022/07/power-stages-losses-induction-motor.html>) [Accessed: Aug. 07, 2023].
- [4] Ercan, A.A. (2014). Elektrik Motorlarının Verimlilik Standartları. *Journal of ETA Maritime Science*, Vol. 2, No. 1, pp. 31-40. (In Turkish).
- [5] Zöhra B., Akar M. (2019). Türkiye’de verimli elektrik motorlarına geçiş süreci ve Şebeke Kalkışlı Sabit Mıknatıslı Senkron Motorlar, *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, Volume : 3 Number: 2, p. 236 (In Turkish).
- [6] Schneider Electric, (2017) NEMA and IEC Premium Efficiency Motors Choosing the Right Motor Control and Protection Components Data Bulletin, USA.

- [7] Türk Standartları Enstitüsü, (2010). TS EN 60034-30, Döner elektrik makinaları - Bölüm 30, Tek hız kademeli, üç fazlı kafesli endüksiyon motorlarının verimlilik sınıfları (IE kodu) (In Turkish).
- [8] Türk Standartları Enstitüsü, (2012). TS EN 60034-30, Döner elektrik makinaları - Bölüm 30: Tek hız kademeli, üç fazlı kafesli endüksiyon motorlarının verimlilik sınıfları (IE kodu) (In Turkish).
- [9] Türk Standartları Enstitüsü, (2014). TS EN 60034-30-1, Döner elektrik makineleri - Bölüm 30-1: Şebeke tarafından beslenen a.a motorlar için verimlilik sınıfları (IE kodu) (In Turkish).
- [10] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), (2021). Net Elektrik Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı. [Online]. Available: (https://tuikWeb.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1029) [Accessed: Apr. 19, 2021], (In Turkish).
- [11] Siemens, (2013). Siemens EFF-IE Dönüşüm Raporu ve Fiyat Listesi (In Turkish).
- [12] Kastamonu Entegre A.Ş. (2021). [Online]. Available: (<https://kastamonuentegre.com.tr/tr/keas-kurumsal/3/sirket-profil>) [Accessed: Apr. 21, 2021], (In Turkish).
- [13] EPDK, 2021. Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları. [Online]. Available: (<https://www.epdk.gov.tr/detay/icerik/3-100/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>) [Accessed Apr. 21, 2021], (In Turkish).



Süleyman Demirel Üniversitesi

YEKARUM e-DERGI

(Journal of YEKARUM)



Cilt 8 , Sayı 2 , 67-79 , 2023
E - ISSN:1309-9388

Tarımda Böcek Zararlılarının Derin Öğrenme Yöntemleri ile Tespit Edilmesi

Fatmanur ATEŞ^{1*}, Ramazan ŞENOL²

^{1*} Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5465-2483), fatmanurates@isparta.edu.tr

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7078-3229), ramazansenol@isparta.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 10/11/2023 ve Kabul Tarihi 30/11/2023)

ÖZET:

Dünya genelinde gün geçtikçe insan nüfusu artış göstermektedir ve nüfusun artması ile tarım ürünlerine olan ihtiyaçta artmaktadır. Tarım alanları da nüfusun artması sebebiyle barınma gibi farklı amaçlarla kullanılmak zorunda kaldığından azalış göstermektedir. Ayrıca geçmişten günümüze bakıldığında tarımcılıkla uğraşan insan sayısında da azalma olduğu görülmektedir. Tüm bu sebepler mevcutta bulunan tarım arazilerinden elde edilebilecek ürün veriminin maksimum düzeyde olması gerektiğinin önemini gözler önüne sermektedir. Tarım alanları çeşitli sebeplerden ötürü zarar görebilmektedir ve elde edilecek mahsulün veya mahsullerin verimleri düşebilmektedir. Tarım alanlarında çıkabilecek yangınlar, ekim olacak bölge için yanlış ürün seçimi, yanlış ilaçlama, hasat zamanının geçirilmesi, yanlış gübreleme vb. gibi tarım alanlarından ürün hasadını engelleyen veya ürün hasadını aza indiren hatalara örnek olarak verilebilir. Tarım alanlarındaki bitkilere zarar veren ve elde edilecek mahsulün verimini düşüren etkenlerden biri tarım zararlısı olan böcek türleridir. Tarım ürünlerinden maksimum verimin elde edilebilmesi için tarımda böcek zararlılarının ya ortadan kaldırılması ya da zararının en aza indirgenmesi gerekmektedir. Tarımda böcek zararlılarının mahsule verdiği zararı minimuma indirebilecek için kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Tarımda zararlı böceklerin türünün tespit edilebilmesi durumunda doğru biyolojik ya da kimyasal yöntem uygulanabilir. Bu çalışmada Kaggle açık veri platformundan alınmış olan “Dangerous Farm Insects” veri seti kullanılmıştır. Veri seti içerisinde 15 farklı türe ait böcek zararlısından alınmış görüntüler bulunmaktadır. Farklı türlere ait görüntüler etiketlenerek derin öğrenme mimarilerinden, Inception_v3, ResNet50d ve Res2Net50d modelleri ile sınıflandırılmıştır. Sonuçlar farklı performans değerlendirme metriklerinden doğruluk ve kayıp değeri kullanılarak verilmiştir. Ayrıca modellerin tahmin başarıları, karmaşıklık matrisleri verilerek sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tarım, böcek zararlıları, derin öğrenme, sınıflandırma

Detection of Insect Pests in Agriculture with Deep Learning Methods

ABSTRACT

The human population is increasing day by day throughout the world, and with the increase in population, the need for agricultural products also increases. Agricultural areas are also decreasing as they have to be used for different

purposes such as shelter due to the increase in population. In addition, when we look at the past and present, it can be seen that there is a decrease in the number of people engaged in agriculture. All these reasons reveal the importance of ensuring that the product yield that can be obtained from existing agricultural lands should be at the maximum level. Agricultural areas may be damaged for various reasons and the yield of the crop or crops may decrease. Fires that may occur in agricultural areas, wrong product selection for the area to be planted, wrong pesticide application, harvest time delay, wrong fertilization, etc. These can be given as examples of errors that prevent or reduce the harvest of crops in agricultural areas. One of the factors that damage plants in agricultural areas and reduce the yield of the crop is insect species that are agricultural pests. In order to obtain maximum efficiency from agricultural products, insect pests in agriculture must be either eliminated or their damage minimized. In agriculture, chemical and biological methods are used to minimize the damage caused by insect pests to the crop. If the type of harmful insects in agriculture can be determined, the correct biological or chemical method can be applied. In this study, the "Dangerous Farm Insects" dataset taken from the Kaggle open data platform was used. The data set includes images taken from 15 different species of insect pests. Images of different types were labeled and classified with Inception_v3, ResNest50d and Res2Net50d models from deep learning architectures. The results are given using accuracy and loss value from different performance evaluation metrics. In addition, the prediction success of the models and the complexity matrices were given and the results were interpreted.

Keywords: *Agriculture, insect pests, deep learning, classification*

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde tarım ürünlerine olan talep nüfusun artması ve tarım alanlarının da azalmasıyla orantılı olarak artış göstermektedir. Mevcut tarım arazilerinden yüksek verimde mahsulün elde edilmesi günümüzde odaklanılan konulardandır. Mahsullerden elde edilebilecek verimi artıran en önemli etkenlerden biri öncelikle bitkinin sağlıklı olmasıdır. Sağlıksız olan bitkiler ya zamanla ölür ya da elde edilecek verimin düşmesine sebep olabilir.

Bitkilerin sağlık durumlarını etkileyen pek çok etken vardır. Bunlardan biri dünyada değişen iklim koşullarıdır. Sıcaklıkların artması ekstrem yağışlara sebep olabildiğinden ve atmosferin nem oranının artmasına sebep olabildiğinden, uzun periyotta bitkilerde farklı hastalık türlerinin gelişmesine sebep olmaktadır. Ayrıca oluşan kuraklıklar bitkilerde yaprak biti ile taşınan virüslerin artmasına sebep olmaktadır. Diğer yandan karbondioksit oranının çok fazla artış göstermesi bitkilerdeki hastalığın şiddetini artırabilir [1]. Tarım alanında Dünya genelinde üretimde oluşan kayıpların yaklaşık olarak %11'inin tarım zararlılarından kaynaklandığı ifade edilmiştir [2]. Tarımda verimin artırılabilmesi, ayrıca bitki türlerinin de korunabilmesi amacıyla önlemler alınması önem arz eder.

Tarımda zararlılara karşı mücadele yöntemleri değişkenlik göstermektedir. Bunlara; kültürel mücadele yöntemleri (temiz tohum ve fide kullanmak, sık dikim yapmamak, dengeli sulama yapmak vb.), fiziksel mücadele yöntemleri (radyasyon uygulama, su altında bırakma), mekaniksel mücadele yöntemleri (ezme, toplama vb.), uzaklaştırıcılar kullanma, tuzak bitkiler kullanma, ses ve ışık gibi fiziksel etkileyiciler kullanma, su ve besin gibi tuzaklar kullanma, biyolojik mücadele, kimyasal mücadele gibi yöntemler örnek olarak verilebilir [3].

Tarımda zararlılarla mücadele işlemi gerçekleştirilmeden önce zararlıların zamanında tespit edilebilmesi önemlidir. Zararlıların zamanında tespit edilmesi ve gereken önlemin alınması bitki hastalıklarının önüne geçilmesinde önemli olabilir. Ancak zararlı türleri çok çeşitlidir, türlerin doğru tespiti uzman bilgisi gerektirir ve zaman alıcı bir süreçtir. Bu sebeple oluşabilecek hataların önüne geçilmesinde bilgisayar destekli görüntü tespit tanıma yöntemleri uygulanmaya başlanmış yöntemlerdendir [4].

Rustia vd., yapışkanlı kâğıt tuzağı görüntüleri üzerindeki küçük boyutlu sera böcek zararlılarının çok sınıflı olarak tanınması için evrişimsel sinir ağı (CNN) temelli yöntem önermişlerdir. Seralarda yapmış oldukları deneylerde F-puanlarının 0.92 ve 0.91 olarak elde edildiğini ifade etmişlerdir [5]. Malathi ve Gopinath, çeltik mahsulünde bulunan on çeşit zararlıyı tanımak için derin evrişimli sinir ağlarını (DCNN) kullanmışlardır. Transfer öğrenme destekli ResNet-50 modelinin diğer uyguladıkları modellerden % 95.012 oranıyla daha iyi doğruluk elde ettiğini ifade etmişlerdir [6]. Ebrahimi vd., çilek bitkilerinde bulunabilecek parazitleri tespit etmek için destek vektör makineleri (SVM) temelli yöntem kullanmışlardır. Sonuçta % 2.25'ten daha az hata yüzdesi ile tespit yapabildiklerini ifade etmişlerdir [7]. Kasinathan vd., 24 böcek sınıfı üzerinde böcek tespit algoritması sunmuşlardır. CNN modeli kullanılarak 9 ve 24 sınıftan oluşan böcekler için sırasıyla %91,5 ve %90 ile yüksek sınıflandırma oranına ulaştıklarını ifade etmişlerdir [8].

Segalla vd., elma bitkisinde bulunana morina güvelerini tespit etmeyi amaçlamışlardır. Tamamen otonom olan sistemin bahçedeki böceklerin fotoğraflarını çekip, derin evrişimli sinir ağları (DNN) algoritmasıyla analiz edip ve pozitif tespit durumunda çiftçiye alarm gönderdiğini ifade etmişlerdir. LeNet ile %98.3 oranında doğruluk, VGG16 ile %88.2 oranında doğruluk elde etmişlerdir [9]. Roldán-Serrato vd. patates ve fasulye mahsullerinde yaprak dökken iki zararlıyı otomatik olarak tespit etmeyi amaçlamışlardır. Rastgele Altuzay Sınıflandırıcısı (RSC) ile %89 tanıma oranı elde ederken, Sınırlı Alıcı Alan (LIRA) ile %88'lik tanıma oranı elde ettiklerini ifade etmişlerdir [10]. Karar vd., bulut bilişime dayalı beş farklı türden oluşan tarım böcek zararlılarını tanıma görevi için daha hızlı bölge tabanlı evrişimli sinir ağını (Faster R-CNN) önermişlerdir. Sonuçta %99,0 oranında tanıma doğruluğu elde ettiklerini belirtmişlerdir [11].

Bu çalışmada CNN temelli mimarilerden olan Inception_v3, ResNeSt50d ve Res2Net50d modelleri kullanılarak 15 sınıftan oluşan tarım zararlılarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Sonuçta en optimum başarı %79,0 tahmin doğruluğu ve 0.708 tahmin kayıp değeri ile Res2Net50d modeliyle elde edilmiştir.

2. MATERYAL ve METOT

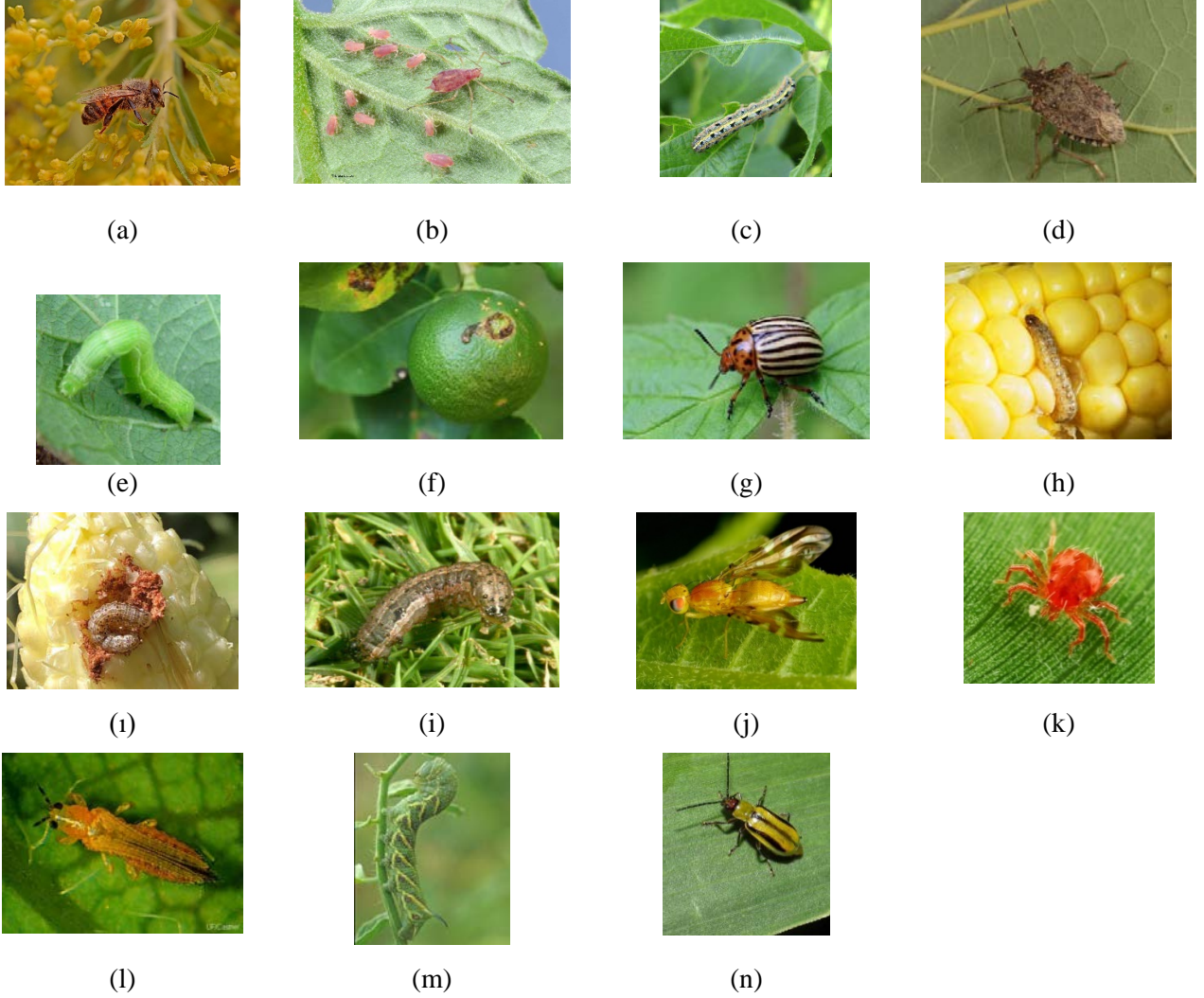
Çalışmada kullanılan materyal ve metot aşağıda başlıklarla açıklanmıştır.

2.1. Veri Seti

Çalışmada kullanılan veri seti “kaggle” açık erişimli internet sitesinden alınmış olup, 15 farklı bitki zararlısı için toplamda 1591 adet veri içermektedir. Tablo 1’de veri seti içerisinde bulunan bitki zararlılarının türleri ve sayıları verilmiştir. Veri seti farklı türler için aynı sayıda veri içermemektedir ancak yaklaşık olarak dengeli bir dağılıma sahip olduğu ifade edilebilir. Gerçek dünya verilerinde de zaten hemen hemen verilerin aynı sayıda olmadığı gözlenebilir. Veri setinin içerisinde seçilmiş olan örnek görüntüler ise şekil 1’de verilmiştir [12].

Tablo 1. Veri Seti İçerisindeki Bitki Zararlıları ve Sayısı [12]

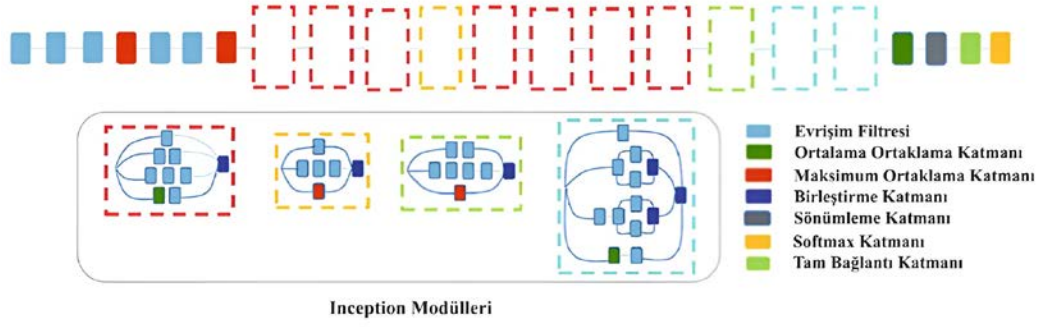
Sınıf Etiketi	Sınıf Adı (Türkçe)	Veri Sayısı
0	Afrikalılaşmış Bal Arısı – Katil Arılar (Africanized Honey Bees (Killer Bees))	97
1	Yaprak Bitleri (Aphids)	88
2	Ordu Kurtları (Armyworms)	96
3	Kahverengi Kokarca Böceği (Brown Marmorated Stink Bugs)	114
4	Lahana Döngüleyicileri (Cabbage Loopers)	104
5	Narenciye Canker (Citrus Canker)	104
6	Colorado Patates Böcekleri (Colorado Potato Beetles)	112
7	Mısır Delicileri (Corn Borers)	115
8	Mısır Kulak Kurdu (Corn Earworms)	110
9	Güz Tırtılı (Fall Armyworms)	113
10	Meyve Sinekleri (Fruit Flies)	101
11	Örümcek Akarları (Spider Mites)	119
12	Saçak Kanatlılar (Thrips)	109
13	Domates Boynuz Kurtları (Tomato Hornworms)	109
14	Batı Mısır Kök Kurtları (Western Corn Rootworms)	100



Şekil 1. Veri setinin sınıflarına ait örnekler (a) Afrikalılaşmış Bal Arısı – Katil Arılar (b) Yaprak Bitleri (c) Ordu Kurtları (d) Kahverengi Kokarca Böceği (e) Lahana Döngüleyicileri (f) Narenciye Canker (g) Colorado Patates Böcekleri (h) Mısır Delicileri (ı) Mısır Kulak Kurdu (i) Güz Tırtılı (j) Meyve Sinekleri (k) Örümcek Akarları (l) Saçak Kanatlılar (m) Domates Boynuz Kurtları (n) Batı Mısır Kök Kurtları [12]

2.2. Inception_v3 Algoritması

Inception ağı algoritması GoogleNet ağı olarak da bilinir. GoogleNet ağı, temeli CNN olan ve 2014 yılında Google tarafından önerilmiş olan bir derin öğrenme mimarisidir. Mimariye “Inception” denilmesinin sebebi, mimarinin sadece ağ parametrelerini azaltmakla kalmayıp buna ilave olarak ağ derinliğini de artırabilmesidir. Bu özelliğinden dolayı görüntü sınıflandırma işlemlerinde yaygın kullanıma sahiptir. Görüntülerden özellikler çıkarılır ve çıkarılan özelliklerden görüntülerin hedef sınıfları ile eşleşmeler yapılarak model eğitimi sağlanır. Inception_v1, Inception_v2, Inception_v3, Inception_v4 ve Inception-ResNet, GoogleNet’in temel sürümlerindedir. Inception fikrine dayanan CNN yapısı şekil 2’de verilmiştir [13], [14].



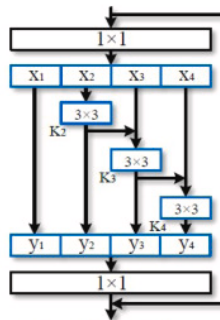
Şekil 2. CNN yapısı ve Inception v3 [14]

2.3. ResNeSt50d Algoritması

Derin öğrenme mimarilerinin ağ derinliklerini artırmanın doğruluk üzerinde olumlu etkiye sahip oldukları gözlemlenmiştir. Ancak ağ derinliğinin artmasıyla doğru orantılı olarak bir süre sonra modelinde doyuma ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu sorunu çözebilmek adına, artık bloklara sahip ResNet mimarisi sunulmuştur ve görsel tanıma zorluklarında çok iyi performans gösterdiği ifade edilmiştir [15]. ResNeSt ise ResNet mimarisinin bir varyantıdır. ResNeSt, Zhang vd. tarafından önerilmiş olan görüntü sınıflandırma, nesne algılama ve segmentasyon işlemlerinde farklı derecelerde doğruluk iyileştirmesine sahip bir mimaridir. ResNeSt, özellik kanallarını ağırlıklandırmak için bölünmüş dikkat işlemini kullanır, bu işlem mimarinin daha zengin özellikleri öğrenmesini sağlar ayrıca daha küçük veri boyutuna sahip görevlere daha iyi uyum sağlayabilir [16], [17], [18].

2.4. Res2Net50d Algoritması

Res2Net mimarisi, Gao vd. tarafından 2019 yılında ResNet’e dayalı olarak önerilen bir diğer derin öğrenme mimarisidir. Burada ResNet’teki evrişim çekirdeklerinin boyutunu ve toplam sayısını değiştirmeden tutarken tüm evrişim çekirdeklerinin birden fazla küçük evrişim oluşturması sağlanır [19], [20]. Şekil 3’te Res2Net modülü görseli verilmiştir [21].



Şekil 3. Res2Net Modülü [21]

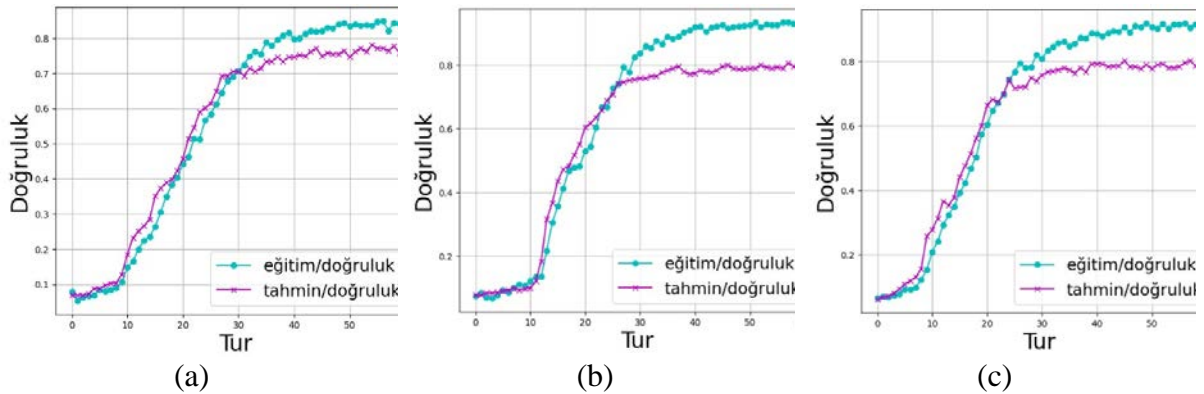
3. ARAŞTIRMA, SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Çalışmada, tarımda zarara sebep olabilecek böcek görüntülerini içeren veri seti Inception_V3, ResNeSt50d ve Res2Net50d algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmış ve sonuçlar verilmiştir. Önce veri normalleştirme, veri artırma gibi ön işlemler veri setine uygulanmıştır. Daha sonra veri seti %80 eğitim ve %20 tahmin verisi olarak ayrılmıştır. Tüm modeller 60 tur olacak şekilde eğitilmiştir. Batch boyutu 32 olarak belirlenmiştir. Tablo 2’de çalışmada eğitilen mimarilerin eğitim ve tahmin verilerinin doğruluk ve kayıpları verilmiştir. Tablo 2’de elde edilen sonuçlar yaklaşık olarak birbirine yakın olsa da çalışmalarda genellikle tahmin ya da test işlemlerine yönelik sonuçlara göre kıyaslama yapıldığından Res2Net50d modelinin optimum sonuçlar verdiği söylenebilir.

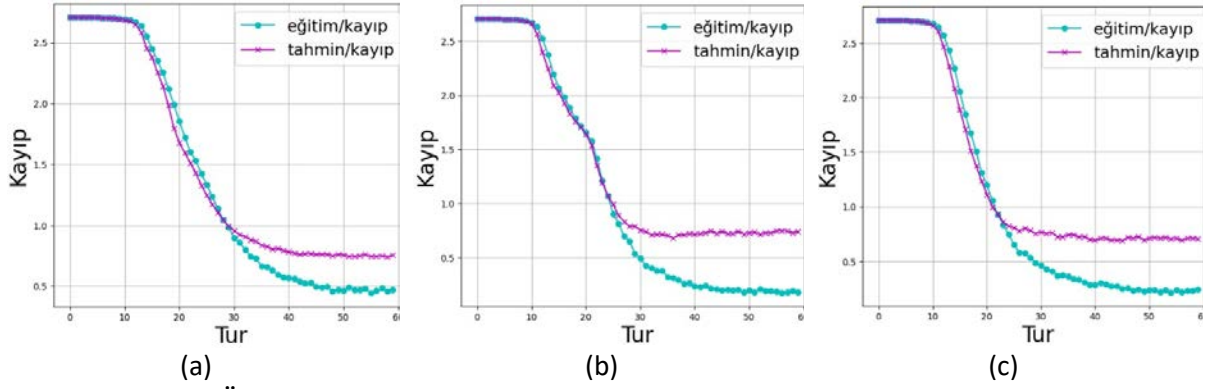
Tablo 2. Eğitim ve Tahmin İşlemlerinin Doğruluk ve Kayıp Sonuçları

Derin Öğrenme Modelleri	Eğitim ve Tahmin Değerlendirme Sonuçları			
	Eğitim Doğruluğu(%)	Tahmin Doğruluğu(%)	Eğitim Kaybı	Tahmin Kaybı
Inception_v3	84,2	75,9	0.472	0.754
ResNeSt50d	93,5	78,7	0.186	0.744
Res2Net50d	90,4	79,0	0.242	0.708

Çalışmada kullanılan mimarilerin Eğitim/Tahmin doğruluk grafikleri şekil 4’te verilmiştir. Çalışmada kullanılan mimarilerin Eğitim/Tahmin Kayıp grafikleri ise şekil 5’te verilmiştir. Şekillerde bulunan grafiklerdeki mavi çizgi ile çizilmiş kısımlar modellere ait eğitim sonuçlarını, mor ile çizilmiş kısımlar ise modellere ait tahmin sonuçlarını göstermektedir. Her turda elde edilen doğruluk ve kayıp sonuçları grafik üzerinde eğitim işlemleri için ‘o’ işareti ile tahmin işlemleri için ise ‘x’ işareti ile grafik üzerinde işaretlenmiştir.

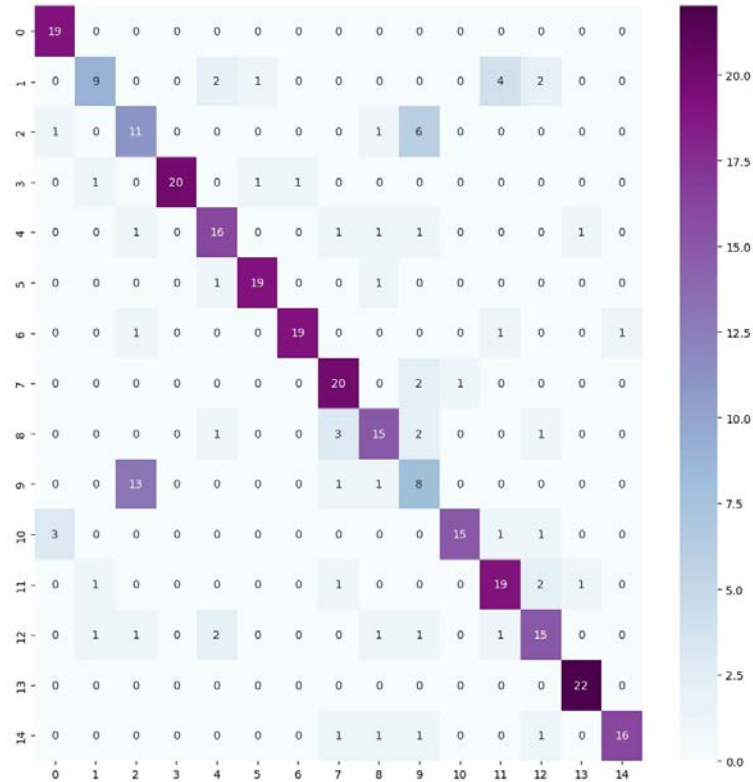


Şekil 4. Derin Öğrenme Modellerinin Doğruluk Grafikleri (a) inception_v3 (b) ResNeSt50d (c)Res2Net50d



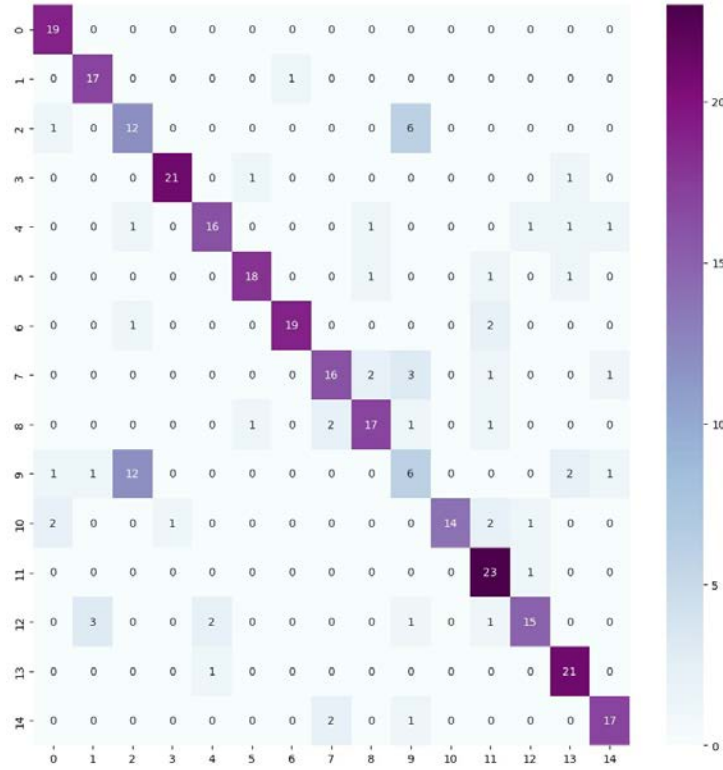
Şekil 5. Derin Öğrenme Modellerinin Kayıp Grafikleri (a) inception_v3 (b) ResNeSt50d (c)Res2Net50d

Çalışmada kullanılan mimarilerden Inception_v3 modelinin tahmin verilerini sınıflandırma sonuçları şekil 6’da karmaşıklık matrisi ile verilmiştir. Inception_v3 modeli etiket sınıfı ‘0’ ve ‘13’ olan sınıfları tamamen doğru sınıflandırırken, etiket sınıfı ‘9’ olan verilerin 15 tanesini yanlış sınıflandırmıştır. Tahmin veri setine ait toplamda 243 veri doğru sınıflandırılırken, 76 veri yanlış sınıflandırılmıştır.



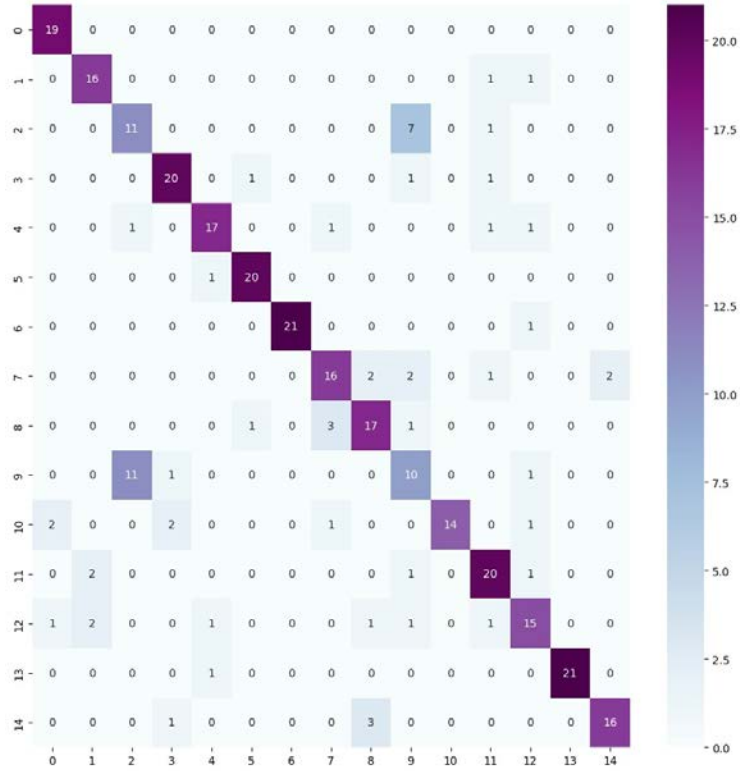
Şekil 6. Inception_v3 modelinin tahmin verilerinin karmaşıklık matrisi

Çalışmada kullanılan mimarilerden ResNeSt50d modelinin tahmin verilerinin sınıflandırma sonuçları şekil 7’de karmaşıklık matrisi ile verilmiştir. ResNeSt50d modeli en iyi sınıflandırmayı etiket sınıfı ‘0’ olan verileri tamamen doğru sınıflandırarak gösterirken, en kötü sınıflandırma başarısını etiket sınıfı ‘9’ olan verilerin 17 tanesini yanlış sınıflandırmasıyla gerçekleştirmiştir. Tahmin veri setine ait toplamda 251 veri doğru sınıflandırılırken, 68 veri yanlış sınıflandırılmıştır.



Şekil 7. ResNeSt50d modelinin tahmin verilerinin karmaşıklık matrisi

Çalışmada kullanılan mimarilerden Res2Net50d modelinin tahmin verilerini sınıflandırma sonuçları şekil 8’de karmaşıklık matrisi ile verilmiştir. Res2Net50d modeli diğer modellerde olduğu gibi etiket sınıfı ‘0’ olan verileri tamamen doğru sınıflandırmıştır. Etiket sınıfı ‘9’ olan verilerin 13 tanesinin yanlış sınıflandırılması ile en kötü veri sınıfı tanıma başarısını ‘9’ etiketli veriler üzerinde gerçekleştirmiştir. Tahmin veri setine ait toplamda 253 veri doğru sınıflandırılırken, 66 veri yanlış sınıflandırılmıştır.



Şekil 8. Res2Net50d modelinin tahmin verilerinin karmaşıklık matrisi

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada CNN temelli mimarilerden olan Inception_v3, ResNest50d ve Res2Net50d modelleri kullanılarak tarım zararlılarının görüntülerinin bulunduğu veri seti sınıflandırılmıştır, tarım zararlılarının türleri derin öğrenme yöntemleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Çalışmada kullanılan mimarilerin performansını değerlendirmek için doğruluk ve kayıp değerleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Res2Net50d modeli %79,0 tahmin doğruluğu ve 0.708 tahmin kayıp değeri ile en optimum sonucu vermiştir.
- Çalışmada kullanılan mimarilerin tahmin veri seti üzerindeki başarısı karmaşıklık matrisi ile de verilmiştir. Karmaşıklık matrisinin vermiş olduğu sonuçlara göre en optimum sınıflandırmayı tahmin veri setinde 253 veriyi doğru olarak ve 66 veriyi yanlış olarak sınıflandıran Res2Net50d modelinin başardığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak en optimum başarı Res2Net50d modeline aittir. Çalışma bir tarım arazisindeki zararlıları tespit etmede çalışanlara kolaylık sağlayabilir, tarımda verimi artırabilmek için kullanılabilir. İlerleyen çalışmalarda model farklı türden zararlıların olduğu veri setleri ile de eğitilip daha fazla canlı türünün tespit edilmesi sağlanabilir. Ayrıca veri

setinde bulunan canlı sınıflarına ait görüntüler artırılıp çeşitlendirilmesi durumunda derin öğrenme mimarilerinin performansları artırılabilir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan “Dangerous Farm Insects Dataset” veri setinin açık kaynak verilerini internet sitelerinde (Kaggle) kullanıma açan herkese teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Çalışma, araştırma ve yayın etiğine uygundur.

KAYNAKLAR

- [1] B. Akbaş, “İklim değişikliği bitki hastalıklarının artmasına neden oluyor,” *turktarim.gov.tr*, 2018. Erişim Adresi: <http://www.turktarim.gov.tr/Haber/145/iklim-degisikligi-bitki-hastaliklarinin-artmasına-neden-oluyor> . [Erişim Tarihi: 09.09.2023].
- [2] M. Avan ve R. Kotan, “Fungusların mikrobiyal gübre veya biyopestisit olarak tarımda kullanılması,” *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 3(1), 167-191, 2021.
- [3] A. A. Altun, “Organik tarımda zararlılarla mücadele yöntemleri,” *MAS Journal of Applied Sciences*, 7(2), 400-409, 2022.
- [4] N. Şahin, N. Alpaslan, M. İlçin, ve D. Hanbay, “Evrşimsel Sinir Ağı Mimarileri ve Öğrenim Aktarma ile Bitki Zararlısı Çekirge Türlerinin Sınıflandırması,” *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 35(1), 321-331, 2023.
- [5] D. J. A. Rustia, J. J. Chao, L. Y. Chiu, Y. F. Wu, J. Y. Chung, J. C. Hsu, and T. T. Lin, “Automatic greenhouse insect pest detection and recognition based on a cascaded deep learning classification method,” *Journal of Applied Entomology*, 145(3), 206-222, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1111/jen.12834>
- [6] V. Malathi, and M. P. Gopinath, “Classification of pest detection in paddy crop based on transfer learning approach,” *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 71(7), 552-559, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1080/09064710.2021.1874045>

- [7] M. A. Ebrahimi, M. H. Khoshtaghaza, S. Minaei, and B. Jamshidi, “Vision-based pest detection based on SVM classification method,” *Computers and Electronics in Agriculture*, 137, 52-58, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.03.016>
- [8] T. Kasinathan, D. Singaraju, and S. R. Uyyala, “Insect classification and detection in field crops using modern machine learning techniques,” *Information Processing in Agriculture*, 8(3), 446-457, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.09.006>
- [9] A. Segalla, G. Fiacco, L. Tramarin, M. Nardello, and D. Brunelli, “Neural networks for pest detection in precision agriculture,” *In 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)* (pp. 7-12), (2020, November). IEEE. Doi: <https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor50201.2020.9277657>
- [10] K. L. Roldán-Serrato, J. A. S. Escalante-Estrada, and M. T. Rodríguez-González, “Automatic pest detection on bean and potato crops by applying neural classifiers,” *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 11(4), 245-255, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2018.08.003>
- [11] M. E. Karar, F. Alsunaydi, S. Albusaymi, and S. Alotaibi, “A new mobile application of agricultural pests recognition using deep learning in cloud computing system,” *Alexandria Engineering Journal*, 60(5), 4423-4432, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.03.009>
- [12] Kaggle “Dangerous Farm Insects Dataset,” *kaggle.com*, 2023. Erişim Adres: <https://www.kaggle.com/datasets/tarundalal/dangerous-insects-dataset> [Erişim Tarihi: 08.09.2023]
- [13] N. Dong, L. Zhao, C. H. Wu, and J. F. Chang, “Inception v3 based cervical cell classification combined with artificially extracted features,” *Applied Soft Computing*, 93, 106311, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106311>
- [14] H. Amin, A. Darwish, and A. E. Hassanien, “Classification of COVID19 X-ray images based on transfer learning InceptionV3 deep learning model,” *In Digital Transformation and Emerging Technologies for Fighting COVID-19 Pandemic: Innovative Approaches* (pp. 111-119), 2021. Cham: Springer International Publishing. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-63307-3_7
- [15] X. Xia, X. Chai, N. Zhang, and T. Sun, “Visual classification of apple bud-types via attention-guided data enrichment network,” *Computers and Electronics in Agriculture*, 191, 106504, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106504>

- [16] Y. Li, C. Peng, Y. Zhang, Y. Zhang, and B. Lo, “Adversarial learning for semi-supervised pediatric sleep staging with single-EEG channel,” *Methods*, 204, 84-91, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2022.03.013>
- [17] E. Haihong, J. He, T. Hu, L. Yuan, R. Zhang, S. Zhang, Y. Wang, M. Song, and L. Wang, “KFWC: A Knowledge-Driven Deep Learning Model for Fine-grained Classification of Wet-AMD,” *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 229, 107312, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.107312>
- [18] H. Zhang, C. Wu, Z. Zhang, Y. Zhu, H. Lin, Z. Zhang, Y. Sun, T. He, J. Mueller, R. Manmatha, M. Li, and A. Smola, “Resnest: Split-attention networks,” *In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 2736-2746), 2022.
- [19] S. H. Gao, M. M. Cheng, K. Zhao, X. Y. Zhang, M. H. Yang, and P. Torr, “Res2net: A new multi-scale backbone architecture,” *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 43(2), 652-662, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2019.2938758>
- [20] Q. Tian, W. Sun, L. Zhang, H. Pan, Q. Chen, and J. Wu, “Gesture image recognition method based on DC-Res2Net and a feature fusion attention module,” *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 95, 103891, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2023.103891>
- [21] F. Yang, M. Jia, L. Lu, and M. Yin, “Adaptive zero-learning medical image fusion,” *Biomedical Signal Processing and Control*, 84, 105008, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.105008>



Süleyman Demirel Üniversitesi

YEKARUM e-DERGI

(Journal of YEKARUM)



Cilt 8, Sayı 2, 80-93, 2023
E - ISSN:1309-9388

Eğirdir Gölü Üzerinde Yüzer Güneş Enerji Santrali Uygulanabilirliğinin Araştırılması

Serkan GÜNER^{1*}, Arif Emre ÖZGÜR²

^{1*} Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0009-0004-1357-1408), serkan.guner@yahoo.com

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6382-5462), emreozgur@isparta.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 19/10/2023 ve Kabul Tarihi 19/11/2023)

ÖZET:

Son yıllarda yenilenebilir enerjiye artan taleple paralel olarak yüzer güneş enerji santrallerinin göl ve barajlarda kullanılmasına yönelik çalışmalara ilgi artmıştır. Bu çalışmada yenilenebilir enerji üretim kaynaklarını kullanarak Isparta ili Eğirdir Gölü üzerinde kurulması düşünülen yüzer fotovoltaik santralinin oluşturulması, konumu, gölün sıcaklık değerleri, çevresel faktörleri ve maliyet hesabı yapılarak uygunluğunun kontrolü yapılmıştır. Çalışmada, konuya ilişkin literatür verileri ele alınmış ve hesaplamalar bu temelde yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda elde edilen veriler ise fotovoltaik paneller kurulu alanın %75'ine yakın bir alan kaplamaktadır. Yapılan bu çalışma sayesinde göldeki buharlaşma sorununun azaltılmasına bir destek niteliğinde olacaktır. Ayrıca güneşten faydalanılarak yılda 992 MWh elektrik üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışma, Eğirdir gölünün korunması adına hayata geçirilme planı dahilinde emsal teşkil edecektir.

Anahtar Kelimeler: *Yüzer Güneş Enerji Santrali, Eğirdir Gölü, Fotovoltaik Panel, YGES*

Investigation of The Feasibility of Floating Solar Power Plant on Egirdir Lake

ABSTRACT

In recent years, in parallel with the increasing demand for renewable energy, interest in the use of floating solar power plants in lakes and dams has increased. In this study, the creation, location, temperature values of the lake, environmental factors and cost calculation of the floating photovoltaic power plant, which is planned to be established on Lake Eğirdir in Isparta province by using renewable energy production resources, were checked for suitability. In the study, literature veri on the subject were discussed and calculations were made on this basis. The data obtained as a result of the evaluation is that photovoltaic panels cover an area close to 75% of the installed area. Thanks to this study, it will be a support to reduce the evaporation problem in the lake. In addition, 992 MWh of electricity can be generated annually by utilizing the sun. This study will set a precedent if the system is to be installed in real terms.

Keywords: *Floating Photovoltaic Power Plant, Eğirdir Lake, Photovoltaic Power Plant*

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kısaca sürekliliğini koruyan enerjinin istenilen metoda dönüştürülmesidir, özellikle fosil yakıtların tükenmeye başlaması ile günümüzde en alternatif kaynak olarak düşünülmektedir [1]. Ayrıca fosil yakıtların tüketilmesi yüzünden doğrudan çevre kirliliği oluşması ve bu yüzden de hava, su kirliliği ve doğal hayatın olumsuz etkilenmesine yol açmaktadır. Bunları çeşitli yöntem ve önlemler ile absorbe etme çalışmalarında bulunulsa da yeterli derecelere düşürülemediği [2].

Türkiye enerji konusunda dışa bağımlı ülke sınıfına girmektedir. Doğalgaz, kömür ve petrol türevlerinin ithalatı ülkemize ciddi bir külfet oluşturmaktadır. Bu yüzden elimizde bulunan doğal enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir. Bunlar güneş ve rüzgâr enerjisi gibi kaynaklardır. Yenilenebilir enerji sistemlerini kurmak başlangıçta maliyetli olsa da enerji konusunda dışa bağımlı bir ülke için alınabilecek en büyük kararlardan birisi olması gerekmektedir. Yeni yönetmeliklerde göre sanayi bölgelerindeki işletmelerde çatı veya belirli alanlarında zorunlu güneş enerji sistemleri kurmaları gerekmektedir.

Güneş enerji sistemleri, tarım arazilerinin olmadığı yerde ve belirli bir güneşlenme alanına sahip olan bölgelerde kurulması gerekmektedir. Ancak Türkiye’ de henüz yeni bir sistem olan Yüzer Güneş Enerji Santralleri sayesinde normal Güneş Enerji Santrallerinden daha portatif ve kurulduğu durgun suyun üzerinde gölgeleme sağlayarak daha işlevsel olmayı başarmıştır [3], [4].

2. MATERYAL ve METOD

Çalışma için sıcaklık derinlik gibi gerekli bilgiler literatür taraması ile elde edilmiştir. Çalışma içerisinde Isparta iline bağlı Eğirdir Gölü ve çevresi ele alınmıştır. Bu bağlamda odaklanması gereken konu yüzer güneş enerji sistemleridir. Bunun için göl yüzeyinde yüzer platformlar oluşturulup fotovoltaik paneller kullanılmıştır.

2.1. Eğirdir Gölü

Akdeniz bölgesinde bulunan Göller Bölgesinin tam anlamıyla içinde konumlanan Isparta ilinin bir ilçesi olan ve adını bulunduğu ilçeden alan Eğirdir Gölü Türkiye’nin 2. büyük tatlı su gölüdür. Eğirdir, Yalvaç, Senirkent, Gelendost ilçelerine kıyısı bulunmaktadır. Tatlı suyu sayesinde Isparta’nın da içerisinde bulunduğu birçok yerleşim yerinin içme suyu ihtiyacının bir kısmını karşılamaktadır. Bu yüzden Isparta için Eğirdir Gölü önemli bir konumda bulunmaktadır.

2.1.1. Coğrafi Konum

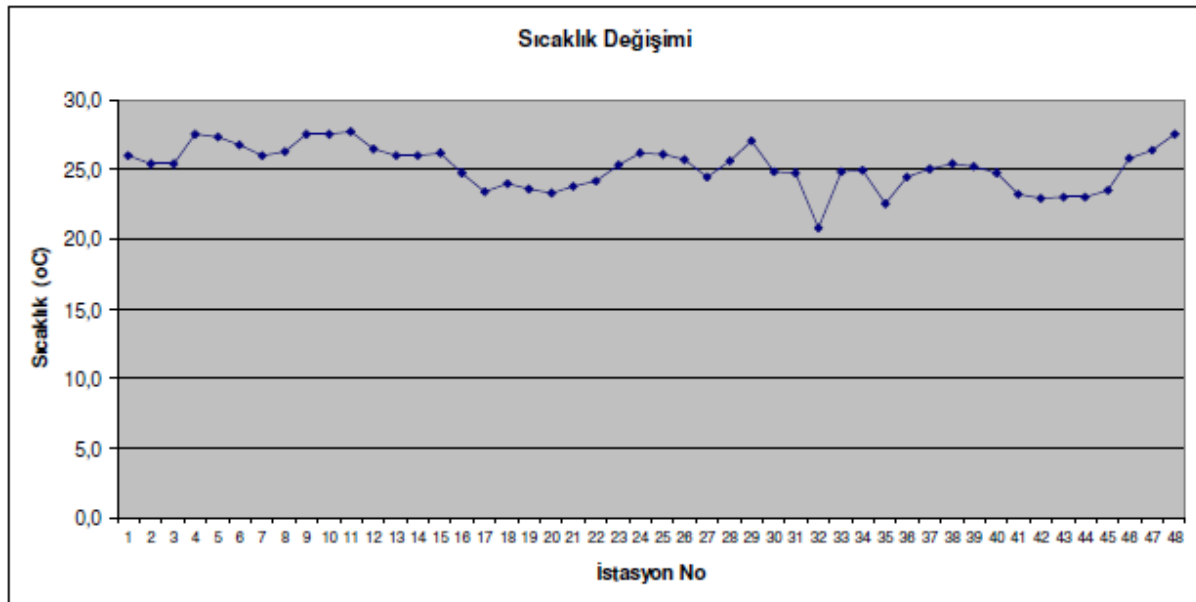
Eğirdir Gölü, 37° 50' 36'' Kuzey- 38° 16' 24'' Kuzey enlemleri ve 30° 44' 39'' Doğu 30° 58' 08'' Doğu boylamları arasında yer alan ve Isparta sınırları içerisinde bulunan kuzey-güney uzanımlı karstik kayaçların aşınması ile oluşan tektonik çöküntü üzerinde oluşmuş bir göldür [5].

2.1.2. Göl Derinliği

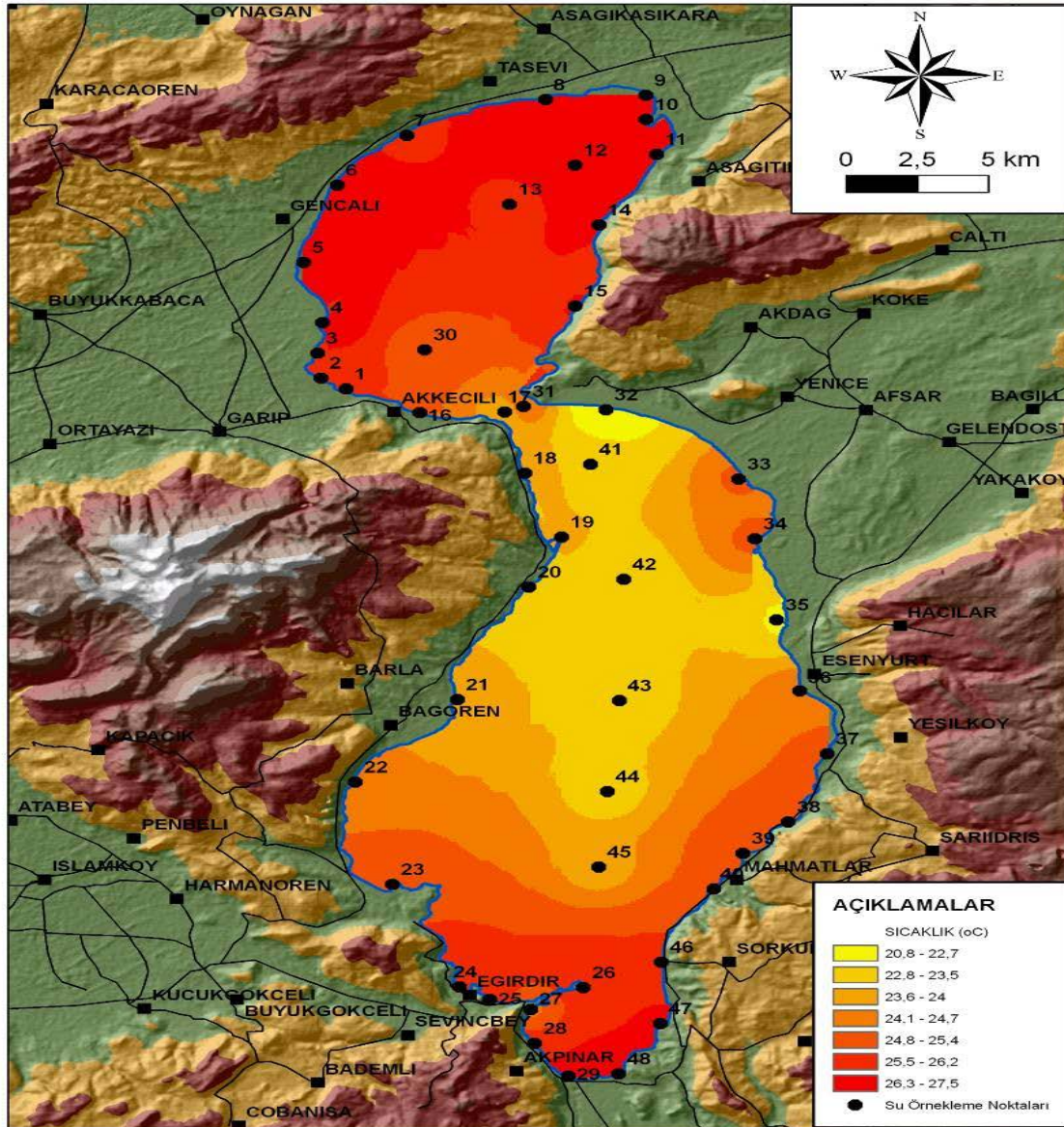
Eğirdir ve Kovada Gölü Çevre Koruma Birliği tarafından yapılan son ölçüme göre 30 Eylül 2023'te su kotu 915.08 metre olarak ölçülmüştür[6]. Son verilere göre gölün ortalama derinliği 8-9 metre arası olup en derin yeri 13-14 metre arasındadır [7], [8].

2.1.3. Göl Suyu Sıcaklığı

Yapılmış olan ölçümlerde göl suyu sıcaklığının 20,8°C ile 27,7°C arasında değişmekle birlikte ortalama su sıcaklığının 25,2°C olduğu belirlenmiştir (Şekil 2). Farklı zamanlarda yapılan ölçümler ile su sıcaklığının en düşük olduğu bölgenin göl dibindeki yeraltı su kaynaklarının çok miktarda su ile gölü beslemesi sebebiyle Gelendost ilçesi açıklarında olduğu, en yüksek su sıcaklığının ise gölün kuzeydoğusunda olduğu bildirilmiştir [8], [9], [10] (Şekil 1).



Şekil 1. Eğirdir Gölü Suların Sıcaklık Değişimleri [1]



Şekil 2. Eğirdir Gölünün Sıcaklık Dağılım Haritası [1]

2.2. Eğirdir Gölünün Kayıpları

Eğirdir Gölü'nde gerek istatistiksel olarak gerekse gözlenme yoluyla bir azalma olduğu bilinmektedir. Bunun başlıca etkisi değişen iklim şartları yüzünden yağışların yeterli gelmemesi, buharlaşmanın bu orana göre fazla olması, tarımın fazla olması nedeniyle kontrolsüz sondajlar, vahşi sulama ve içme suyu olarak kullanılması yüzünden gölden alınan sudan daha azı geri koyulduğu için Eğirdir Gölünde ciddi bir azalma gözlenmektedir. Bilimsel olarak araştırmalara da konu olan bu azalma kayıtları bulunmaktadır. Gölün su derinliği, yıllara ve mevsimlere göre değişir ve en yüksek su seviyesi Haziran 1969'da 919,28 metre olarak kaydedilirken, en düşük su seviyesi ise 19 Ekim 2022'de 914,80 metre olarak kaydedilmiştir.

Göl su seviyesindeki uzun dönemli değişimler yağışlarla birlikte artar veya azalır [4]. Eğirdir Gölünün yıllık buharlaşma miktarı ise 1246 mm / yıl'dır [11].

2.3. Isparta İlinin Güneşlenme Süresi

Eğirdir'in güneşlenme süresi ilçe olmasından dolayı Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınamamıştır. Bu yüzden Isparta ilini baz alarak yapılmıştır. Isparta'daki aylık toplam güneşlenme süresi Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan bilgilere göre kış aylarında (Kasım - Şubat) yaklaşık 126 saat olduğu anlaşılmıştır. Yaz aylarında (Mart - Ekim) ise 256 saat olduğu hesaplanmıştır (Tablo 1)[12]. Ortalama olarak yaz aylarında 8 saat sürekli güneş görüyor olarak kabul edilmiştir.

Tablo 1. Isparta ili Güneşlenme Süreleri

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929-2022)													
Saat	3.7	4.6	5.6	6.6	8.2	10	11.1	10.5	9.3	6.8	5.2	3.3	7.1
Aylık Güneşlenme	111	138	168	198	246	300	333	315	279	204	156	99	
Ortalama	Kış Ayları Ortalaması			126	Yaz Ayları Ortalaması			255.375					

2.4. Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji; güneş, rüzgar, su, ay gibi doğal oluşumların etkileşimlerinden faydalanılan ve sürdürülebilir bir enerji olarak tanımlanmaktadır. Fosil kaynaklı ürünlere göre çok daha az CO₂ salınımı bulunan, çevreye zararı daha düşük olan enerji türüdür [1].

2.4.1. Güneş Enerjisi

Hemen hemen bütün enerji kaynaklarının oluşumunda mutlak bir katkısı bulunmaktadır. Güneş enerjisi, hidrojen gazının helyum gazına dönüşmesi sırasında ortaya çıkan enerjinin ışıınım biçiminde dünyamıza gelmesi ile elde edilen sürekli bir enerji kaynağıdır [1], [4].

2.4.2. Yüzer Güneş Enerji Santrali

Su üzerinde yüzer bir sistemin içerisine kurulan temizliği ve soğutulması güneş tarlalarına göre daha kolay olan, kurulduğu alanı gölgelendirmesi sayesinde su kaybını azaltan güneş enerji santrallerinin bir uygulamasıdır. Yüzer güneş enerji santralinin Türkiye içerisinde yapılmış en kapsamlı proje İstanbul Büyükçekmece Yüzer Güneş Enerji Santralidir [2], dünyada en geniş alana kurulan yüzer güneş enerji santrali Çin' de kurulmuştur [13].

2.5. Sistem Yapısı

Yüzer Güneş Enerji Santralleri, karada kurulan Güneş Enerji Sistemleri ile aynı işlemi gerçekleştirmektedir. Kara sisteminden ayıran pozitif özellikleri portatif olabilmesi, su yüzeyine çarpan güneş ışınlarını tekrar alınabilmesi, soğutulması ve temizlenmesi etrafında bulunan pompalar ile üzerlerine su atılarak gerçekleştirilebilmesi, üzerinde bulunduğu alanı gölgelendirerek buharlaşma etkisini azaltmasıdır. Negatif özellikleri ise platform kurulması için kullanılan tüm malzemelerin suya dayanıklı olması gerekmektedir, ilk yatırım maliyeti yüksektir.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLAR ve TARTIŞMA

3.1. Santralin Kurulması gereken yerin bulunması

Eğirdir gölü 468 km² alana sahip bir göldür. Bu yüzden santralin kurulumu için yerleşim yerini daha çok çevresel faktörleri göz önünde bulundurarak karar vermek gerekmektedir. Yüzer Güneş Enerji Santrali'nin en büyük avantajı şüphesiz bir platform üzerinde bulunmasıdır. Yerleşim yeri seçimi için bazı etkenler başlıca şunlardır.

- Su derinliği

Suyun derinliği net bir sorun değildir ancak su derinliğinin fazla olması kablo masrafı açısından negatif bir yol izler.

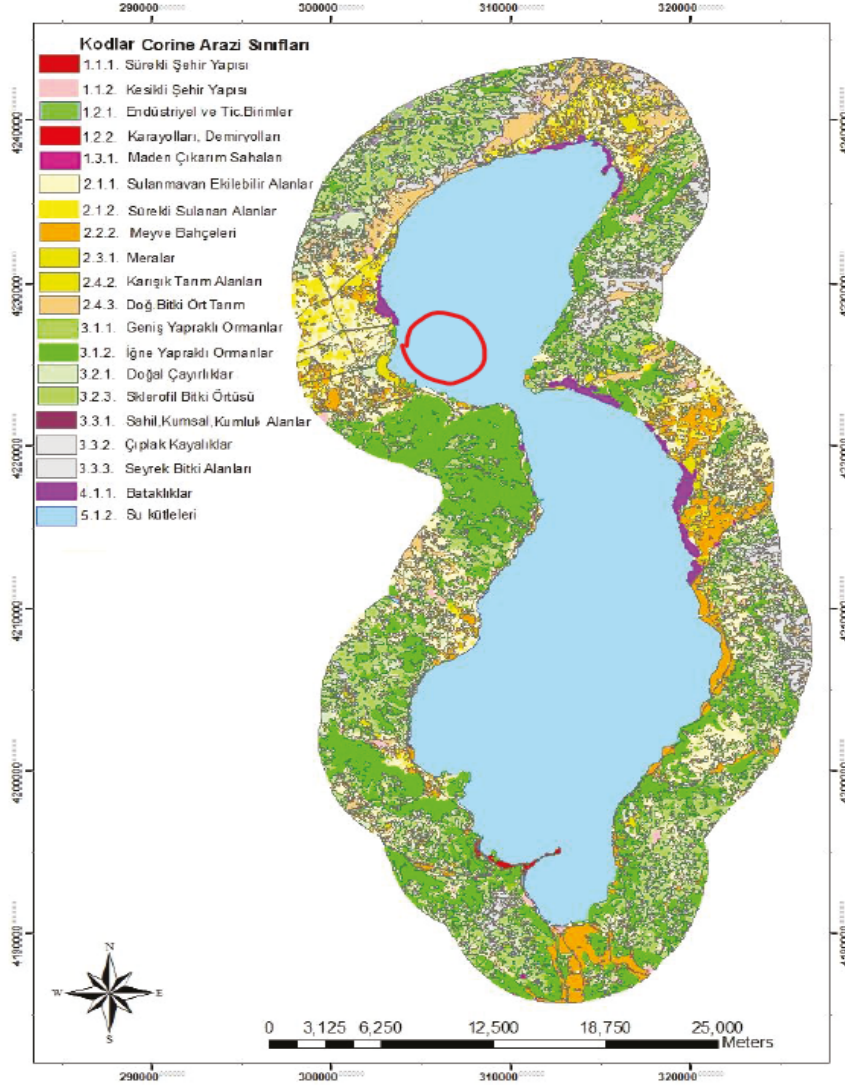
- Çevre

Çevre bu konuda büyük bir turnusol görevi görmektedir. Çünkü sık olarak kullanılan plajlar ve tekne yolları bulunmaktadır.

- Yerleşimden uzaklık

Yerleşim yerlerine yakın olması hem oradaki insanları memnun etmeyebilir hemde panellerin, kabloların güvenliğini riske atabilir.

Eğirdir Gölü iki kısımdan oluşmaktadır büyük olan kısmına Eğirdir ve küçük olan kısmına ise Hoyran denilmektedir, Eğirdir bölümü aktif olarak kullanılmakta ve Altın kum, Bedre gibi sıklıkla kullanılan plajlar barındırmaktadır. Bu sebeple kurulması düşünülen santralin Hoyran tarafında Gençali köyü ile boğaz arasına kurulması düşünülmektedir. Corine arazi sınıflarına göre incelendiğinde belirlenen alan kırmızı ile boyanmıştır ve Uydu görünümü üzerinde belirtilen alan içerisinde 8 km²'lik bir alan seçilmiştir (Şekil 3, Şekil 4).



Şekil 3. CORINE arazi kullanım haritası [14]



Şekil 4. Uydu Görünümü ile Alanın belirlenmesi

3.2. Platformun oluşturulması

Yüzer Güneş Enerji Sistemlerinde, fotovoltaik panellerin yerleştirilebilmesi için yüzdürücülere ihtiyaç vardır. Bu yüzdürücüler sıklıkla kullanılan HDPE yüzer dubalardır (Şekil 5). Her bir duba yaklaşık olarak 300 kg yük taşıma kapasitesine sahiptir.



Şekil 5. HDPE Platform [15]

Bir cismin yüzebilmesini hesaplamak için battığı hacmin toplam hacminden küçük olması gerekmektedir. Bu bilgiye göre bakıldığında ;

$$F_{KB} = G \quad (1)$$

$$V_{batan} * d_{sıvı} * g = V_{sistem} * d_{sistem} * g \quad (2)$$

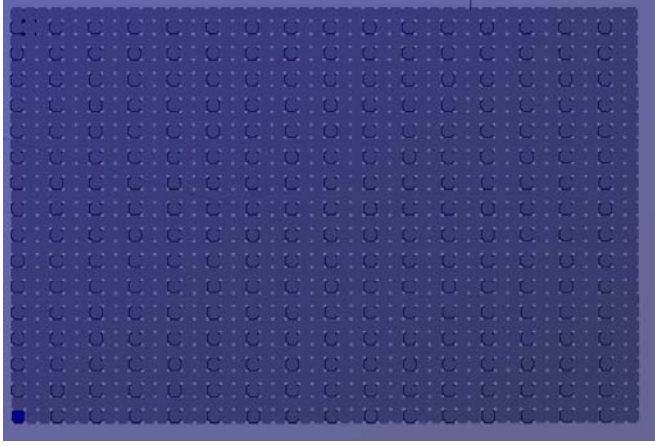
$$V_{batan} * d_{sıvı} = V_{sistem} * d_{sistem} \quad (3)$$

$$\frac{V_{batan}}{V_{sistem}} = \frac{d_{sistem}}{d_{sıvı}} \quad (4)$$

$$\frac{d_{sistem}}{d_{sıvı}} < 1 \quad (5)$$

İncelemeye göre d_{sistem} 'in $d_{sıvı}$ 'dan küçük olması gerekmektedir.

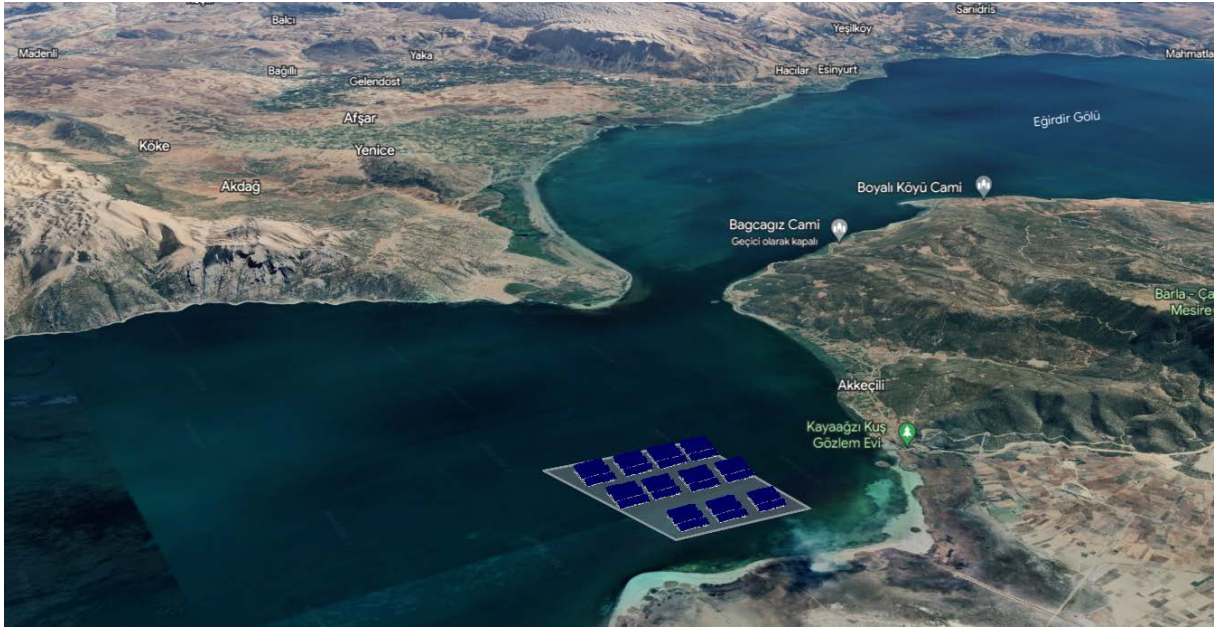
Fotovoltaik paneller yaklaşık olarak 20 kg bir ağırlığa sahiptir. Her 8 adet HDPE platform üzerine bir adet fotovoltaik panel koyulacaktır. Bir HDPE yüzer duba 300 kg yük taşıma kapasitesine sahip ve her bir fotovoltaik panel için 8 adet duba kullanılacağından dolayı panellerin ağırlığı dubalara bir sorun teşkil etmeyecektir. 8 km² alan içerisinde 6 km² lik bir alan içerisinde oluşturulması planlanan bölgeye dubalardan oluşturulan platformlar rahat bir biçimde yerleştirildiğinde 11 adet platform yerleştirilebilmektedir (Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8.).



Şekil 6. Bir adet yüzer platformun iki boyutlu üstten görünüşü



Şekil 7. Yüzer platformun yandan görünüşü



Şekil 8. Uydu haritası üzerinden platformların yerleşimi

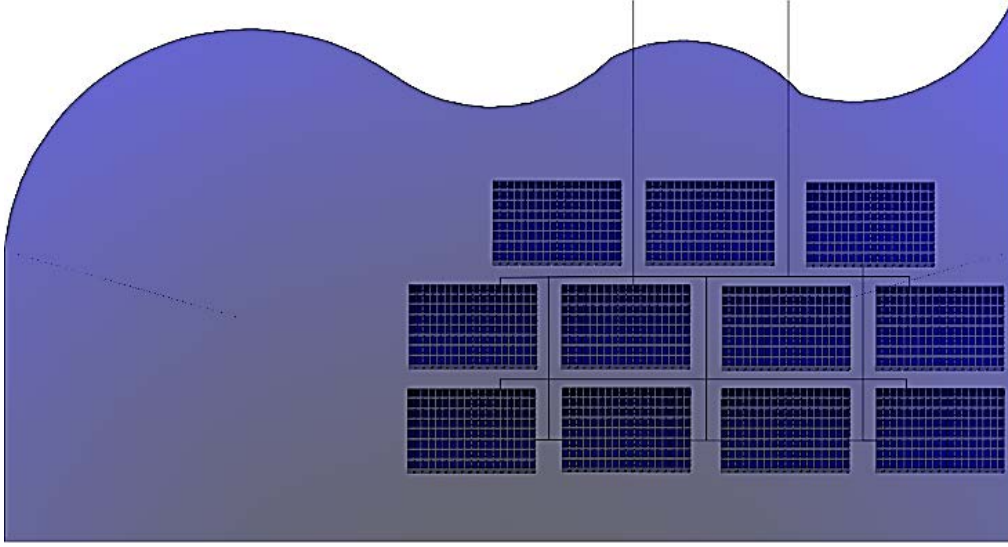
3.3. Fotovoltaik Panel Seçimi

Fotovoltaik panel seçiminde korozyona karşı dayanıklı olması önemlidir. Bu standarda göre incelenecektir. Piyasada çok fazla fotovoltaik panel mevcuttur. Yapılan fiyat araştırmalarının sonucunda 260 W'lık yerli üretim olan bir fotovoltaik panel kullanımı dikkate alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. Fotovoltaik Panellerin Yerleştirilmesi

Kullanılması planlanan fotovoltaik panelin en ve boy ölçüleri 1648*995*35 mm boyutlarındadır. Bir HDPE yüzer dubanın ölçüsü ise 500*500*300 mm'dir. Her bir fotovoltaik

panel için 8 adet HDPE yüzer duba gerekmektedir. Toplamda 11 adet platform oluşturulacağı için her platform toplamda 1152 adet duba kullanılacak ve her bir platform üzerinde 144 adet fotovoltaiik panel kullanılacaktır (Şekil 9).



Şekil 9. PV panellerin yerleştirilmesi

3.4. Depolama Yerin Belirlenmesi

Eğirdir gölü su seviyesinin bulunduğu 100 m’lik bir sınır I. Derece Sit Alanı olarak geçmektedir. Yine gölden itibaren 300 m’lik bir bölge ise III. Derece Sit Alanı olarak geçmektedir. Yakın bir noktaya bir trafo merkezi kurmak sit alanlarından dolayı son derece zor olacaktır. Bu yüzden elektriği doğrudan Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketinin trafolarına yönlendirmek maliyet ve projenin uygulanabilirliği açısından daha kolay olacaktır. Eğirdir’e yakın bir konumdan Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketinin yüksek gerilim hattı geçmektedir. Kurulan Yüzer Güneş Enerji santralinden üretilen elektriği Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketinin hattına bağlanması sağlanacaktır.

3.5. Üretilen Enerji

3.5.1. Üretilen Enerjinin Bulunması

Her bir platformun içinde 144 adet fotovoltaiik panel bulunmaktadır. Bu sayede her platform saatte 38 kWh’lik enerji üretebilmektedir. Santralde bir saatte 412 kWh’lik bir enerji üretilmektedir.

$$\text{Bir saatte üretilen enerji (Wh)} = 144 \text{ adet} \times 260 \text{ Wh}$$

$$\text{Bir platformun saatlik ürettiği enerji: } 38.000 \text{ Wh}$$

$$\text{Bir saatte üretilen toplam enerji (Wh)} = 1584 \text{ adet} \times 260 \text{ Wh}$$

Tüm platformların saatlik ürettiği toplam enerji: 412.000 Wh

3.5.2. Enerji Analizi

Yüzer Güneş Enerji Santralinde 412 kWh güç bulunmaktadır.

1584 adet Polikristal 260 W panel bulunmaktadır. Günlük elektrik üretim miktarları incelenecek olursa;

Kış aylarında üretilmesi beklenen elektrik (ortalama 4 saat güneşlenme): 1648 kW

$$\text{Kış Aylarında Üretilen Günlük Elektrik} = 412 \text{ kWh} \times 4 \text{ saat}$$

Yaz aylarında üretilmesi beklenen elektrik (ortalama 8 saat güneşlenme): 3296 kW

$$\text{Yaz Aylarında Üretilen Günlük Elektrik} = 412 \text{ kWh} \times 8 \text{ saat}$$

Kış ayları 4 ay ve yaz ayları 8 ay olarak hesaplandığında;

Yıllık üretilen elektrik miktarı 992000 kW olarak hesaplanmıştır.

3.6. Maliyet

Bu proje için gerekli olan malzemeler fotovoltaik paneller, platform oluşturmak için HDPE yüzer dubalar, kablolar, bağlantı elemanları ve invertörlerden oluşmaktadır. Fiyat araştırması yapılırken tek bir kaynak üzerinde durulmamış aranan özellikler ile ilgili fiyat belirten satıcılardan ve kataloglarından fiyat alınarak yapılmıştır. Bulunabilen en uygun fiyatlar dolar bazında yazılmıştır (Tablo 2, Tablo 3).

Tablo 2. Maliyet Birim Fiyat Listesi

MALZEMELER	BİRİM FİYATI \$
Fotovoltaik Panel: 260W	102
Modüler HDPE plastik yüzer iskele sistemi duba	20
İnverter (Huawei 105 Kw On Grid Solar Inverter)	116.000
Tüm platformlar için 11 adet çapa	20
Kablolar (6mm DC Kablo Suya Dayanıklı, 150 mm kablo) ve bağlantı elemanları (metre)	1.5

Tablo 3. Maliyet Hesabı

MALZEMELER /ADET	TUTAR \$
Fotovoltaik Panel: 260W * 1584 adet	161.568
Modüler HDPE plastik yüzer iskele sistemi duba * 15000 adet	300.000
Inverter (Huawei 105 Kw on Grid Solar Inverter) *4	464.000
Tüm platformlar için 11 adet çapa	220
Kablolar (6mm DC Kablo Suya Dayanımlı, 150 mm kablo) ve bağlantı elamanları	25.000

Toplam maliyet: 950.788 \$ işçilik ve taşıma maliyetleri ile 1 M\$ olarak belirlenebilir.

3.6.1. Getiri Hesabı

Üretilen Elektriğin Satışı

Tedaş 2023 yılında kW başına lisanslı elektrik üreticileri için 32 kuruş ödemektedir.

Saatlik üretilen Kw : 412 kW

Günlük üretilen Kış : 1.648 MW

Günlük üretilen Yaz: 3.3 MW

Aylık (30 günlük Kış) : 50 MW

Aylık (30 günlük Yaz) 99 MW

Yıllık toplam üretim : 992 MW

Yıllık kazanç miktarı : 317.440 TL

Amorti Süresi : 8.9 Yıl

Güncel Kur (1\$ = 28.01 TL)

4. SONUÇ

Elde edilen sonuçlara göre Eğirdir Gölü üzerinde kurulması planlanan Yüzer Güneş Enerji Santrali Türkiye’de yapılmış en büyük Yüzer Güneş Enerji Santrali olacaktır. Büyükçekmece Yüzer Güneş Enerji Santralinin yaklaşık olarak iki katı bir enerji üretimine sahip olacaktır. Projenin gerçekleştirilmesi ile gölde buharlaşmadan kaynaklı oluşan su kaybını fotovoltaik panellerin suyun üzerini gölgelendirmesinden dolayı azaltması planlanmış olup kapladığı alanın yaklaşık yüzde 75 oranına sahiptir ve üzerinde bulunduğu suya gölgeleme sağlamaktadır.

Toplam gölde oluşan buharlaşmadan 15.5 mm/yıl kadar azaltma sağlamaktadır. Suda bulunan alglerin fotosentezini engellediği için gölde bulunan canlı yaşamının devamını sağlamaya yönelik bazı avantajlar sağlanmış olacaktır. Ayrıca elde edilen yıllık 992 MW enerji sayesinde de maliyetini kısa zamanda karşılayacak ve kâr etmeye başlayacaktır. Her yıl enerji maliyetlerinin ve fiyatlandırmaların artacağı göz önünde bulundurulursa amorti süresi çok daha kısılacaktır. Elbette seçilen malzemelerin değiştirilmesi ve yeni geliştirilecek olan teknolojiler ile üretimin artırılıp maliyetin azaltılabileceği sistemler oluşması sayesinde katkı sağlanması hızlanabilir. Eğirdir gölü ve Eğirdir ve civar ilçe ve köylerin bakım ve iyileştirilmesi için gerekli ödeneği de sağlayabilecektir. Kurulacak alana yakın yerlerin gelişmesine katkı sağlanmış olacaktır. Türkiye’de dolar kurunun yükselmesi ile maliyet yükselmekte ancak hibe ve teşviklere başvurularak bir kısmının bu yollar ile karşılanması sağlanabilir. Sonuç olarak Eğirdir Gölü bu ve benzeri çalışmalar için elverişli bir kaynaktır. Göl üzerindeki buharlaşma kayıplarının azaltılması adına güneş santrali uygulamalarının özel teşvik kapsamına alınması önem arz etmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Çalışma, araştırma ve yayın etiğine uygundur.

KAYNAKLAR

- [1] E. Koç. & K. Kaya, “Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu,” *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47. 2015.
- [2] M. K. Kaymak, “Hava-çevre koşullarına adaptif yüzer güneş enerji santrali tasarımı ve uygulaması,” (Doctoral dissertation, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü), 2021.
- [3] K. Trapani, & Miguel Redón Santafé, “A review of floating photovoltaic installations: 2007–2013. Progress in Photovoltaics: Research and Applications”, 23(4), 524-532, 2015.

- [4] S. Özaltın, & A. K. Binark, “Eğirdir Gölü çevresinde yenilenebilir enerji uygulamaları,” *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 112-122, 2021.
- [5] E. Yaman, “Eğirdir ve Kovada Göl Havzası Oluşumu ve Hidrolojik Değerlendirilmesi,” Eğirdir Gölü Yönetim Planı Çalışmayı, 22, 26-28, 2007.
- [6] <https://www.egirdirakingazetesi.com.tr/haber/44661/EGIRDİR-GOLU-SU-KOTU-91508-METREYE-DUSTU> adresinden edinilmiştir.
- [7] E. Kesici, C. Kesici, “Eğirdir Gölü (Isparta)’nın Doğal Yapısına Yapılan Müdahalelerin Gölün Ekolojik Yapısına Etkileri,” *Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Dergisi*, 23, 99-103. 2006.
- [8] Ş. Şener, E. Şener, A. Davraz, R. Karagüzel, C. Bulut, “Eğirdir Gölü Su Kalitesine Yönelik Ön Bulgular: Yerinde Ölçümlerin Değerlendirilmesi,” 74-75 s. 2010.
- [9] İ. İ. Soyaslan, “Eğirdir Gölü Doğusunun Hidrojeoloji İncelemesi ve Yeraltısuyu Modellemesi,” Doktora tezi, SDÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 261s. 2004.
- [10] A. Davraz, R. Karaguzel, İ. Soyaslan, E. Şener, F. Seyman, Ş Şener, “Hydrogeology of Karst Aquifer Systems in SW Turkey and an Assessment of Water Quality and Contamination,” *Environmental geology*, 58, 973-988. 2008.
- [11] <https://www.egirdirakingazetesi.com.tr/haber/50858/EGIRDİR-GOLU-VE-HAVZAYA-BUTUNCUL-BAKMAK-6-Bolum> [Accessed; November.14,2023].
- [12] <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ISPARTA> [Accessed; November.1,2023].
- [13] E. Bellini, “World’s largest floating PV plant goes online in China,” *PV Magazine*, <https://www.pv-magazine.com/2022/01/03/worlds-largest-floating-pv-plant-goes-online-in-china/> [Accessed; January.13,2022].
- [14] M. Gencer, “Eğirdir Gölünü çevreleyen arazilerin CORINE yöntemine göre arazi kullanım sınıflaması,” (Doctoral dissertation, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü),2011.
- [15] <https://floatingjetty.en.made-in-china.com/product/pSAQtXsKHIRV/China-HDPE-Modular-Floating-Pontoon-for-Sale.html> [Accessed; November.14,2023].



Süleyman Demirel Üniversitesi

YEKARUM e-DERGI

(Journal of YEKARUM)



Cilt 8 , Sayı 2 , 94-104 , 2023
E - ISSN:1309-9388

Regresyon Yöntemleri ile Güneş Enerjisi Tahmini

Fatmanur ATEŞ^{1*}, Ramazan ŞENOL²

^{1*} Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5465-2483), fatmanurates@isparta.edu.tr

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7078-3229), ramazansenol@isparta.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 09/11/2023 ve Kabul Tarihi 22/11/2023)

ÖZET:

Dünya üzerinde nüfusun artması ve sanayileşmenin hızlanmasıyla enerjiye olan ihtiyaçta artmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanması için temelde yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları doğaya zarar vermeyen ve sürekli olma özelliği taşıyan kaynaklar olduğundan son yıllarda kullanımı artış göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş, elektrik enerjisi üretiminde kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşan kaynaklardandır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisinin üretimi pek çok farklı yöntemle yapılabilmektedir ve bu yöntemler geliştirilmektedir. Ancak güneşten elektrik enerjisi üretiminin sürekli ve istikrarlı olması için bölgenin güneş ışınımının belirlenmesi ve güneş enerji santrallerinin güneş ışınımı göz önünde bulundurularak kurulması önem arz eder. Bu çalışmada Amerikan Meteoroloji Derneği (AMS) 'nin düzenlemiş olduğu güneş enerjisi tahmin yarışması için oluşturulan ve kullanıma sunulan verilerden güneş enerjisi tahmini yapılmıştır. Veriler Oklahoma şehrinde “güneş enerjisi çiftlikleri” olarak hizmet veren 98 farklı güneş enerji istasyonundan alınmıştır. Kullanılan veri seti ile literatürde güneş enerjisi tahmini için bulunan mevcut modellere alternatif yapay zekâ modeli önermek ve sonuçların iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada torbalama (bagging), k en yakın komşu (KNN) ve aşırı gradyan artırma (XGB)’ dan oluşan yapay zekâ regresyon algoritmaları kullanılarak ve kullanılan algoritmaların hiper parametre ayarlamaları yapılarak model performanslarının iyileştirilmesi sağlanmıştır. Sonuçlar güneş enerjisi tahmin yarışması için belirlenen performans değerlendirme metriği olan ortalama mutlak hata (MAE) ile verilmiştir. Sonuçta en optimum performansın torbalama algoritması kullanılarak 1340765.665225403 MAE değeri ile elde edildiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi Tahmini, Regresyon, Torbalama Algoritması

Solar Energy Prediction by Regression Methods

ABSTRACT

As the world's population increases and industrialization accelerates, the need for energy increases. Basically, renewable and non-renewable energy sources are used to meet energy needs. Since renewable energy sources do not harm nature and are sustainable, their use has increased in recent years. Sun, one of the renewable energy sources, is one of the sources whose use in electrical energy production is becoming more widespread day by day. The production of electrical energy from solar energy can be done by many different methods, and these methods are being developed. However, in order for the production of electrical energy from the sun to be continuous and stable, it is important to determine the solar radiation of the region and to establish solar power plants taking solar

radiation into consideration. In this study, solar energy prediction was made from the data created and made available for the solar energy prediction competition organized by the American Meteorological Society (AMS). The data was taken from 98 different solar power stations that serve as “solar farms” in Oklahoma City. With the data set used, it is aimed to propose an alternative artificial intelligence model to the existing models for solar energy forecasting in the literature and to improve the results. In the study, artificial intelligence regression algorithms consisting of bagging, k nearest neighbor (KNN) and extreme gradient boosting (XGB) were used and the model performances were improved by making hyperparameter adjustments of the algorithms used. The results are given by mean absolute error (MAE), which is the performance evaluation metric determined for the solar energy forecasting competition. As a result, it was determined that the most optimum performance was achieved with an MAE value of 1340765.665225403 by using the bagging algorithm.

Keywords: *Solar Energy Prediction, Regression, Bagging Algorithm*

1. GİRİŞ

Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi çevre zarar vermemesi ve kaynakların sürekli olması gibi özellikleriyle son yıllarda kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına rüzgâr, dalga, güneş örnek olarak verilebilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş, farklı yöntemler kullanılarak enerji elde edilen en sık kullanılan kaynaklardan biridir. Güneşten güneş kolektörleri, fotovoltaik paneller, güneş bacaları gibi yöntemlerle farklı miktarlarda enerji elde edilir. Bu yöntemlerden enerji eldesini etkileyen en önemli parametrelerden biri ışınımıdır. Işınım arttıkça üretilen enerji de artar. Güneşten elde edilecek enerji hava koşullarına bağlıdır.

Hava koşulları her zaman aynı değildir değişkenlik gösterir, dolayısıyla elde edilen enerjide de dalgalanma olur. Tüketicinin enerji talebide zamana göre değişkenlik gösterir. Dolayısıyla elde edilen enerjinin fazlası daha sonra kullanılmak üzere depolanır. Biyolojik, kimyasal, ısı vb. türlerde çok değişik depolama yöntemleri mevcuttur [1]. Yenilenebilir enerjinin uygun bir şekilde depo edilmesi ve daha sonra tekrar kullanılması için bir öngörü şarttır. Bu öngörüye yönelik yapılan bazı araştırmalar, hava durumu verileri ile istatistik ve makine öğrenmesi yaklaşımlarını kullanarak güneş enerjisi tahminini üzerinde yoğunlaşmaktadır. Güneş enerjisi tahminleri kısa ya da uzun vadeli olarak yapılabilmektedir [2].

Güneş enerjisi tahminine yönelik olarak Amerikan Meteoroloji Derneği (AMS)’de bir yarışma düzenlemiştir. Yarışmada en iyi kısa vadeli tahminleri sağlayan istatistik ve makine öğrenmesi yöntemlerini belirlemek amaçlanmıştır. Yarışma 2014 yılında kaggle’da düzenlenmiş olup, 98 Oklahoma Mesonet arazisine gelen toplam günlük güneş enerjisini tahmin etmek amaçlanmıştır. Bu arazide Amerika Birleşik Devletlerinde bulunan 144 Yerel Topluluk Tahmin Sisteminden (Global Ensemble Forecast Systems - GEFS)’ten alınan hava durumu verileri kullanılarak güneş enerjisinin tahmin edilmesinin gerekli olduğu güneş enerjisi

çiftlikleri bulunmaktadır [3]. AMS veri seti kullanılarak farklı çalışmalar yapılmıştır. Zameer vd., veri seti üzerinde Ridge Regresyon ve Rastgele Orman algoritmasını önermiş oldukları çalışmalarında Ortalama Mutlak Hata (MAE) değerlerini sırasıyla 2283598,75 ve 2275017,03 olarak elde etmişlerdir [4]. Díaz–Vico vd., Derin Evrimsel Sinir Ağları (DNN) ile MAE değerini 2561382.58 olarak elde etmişlerdir [5]. Saad vd., 11 farklı regresyon modeli ortalamasıyla MAE değerini 2010000 olarak elde etmişlerdir [2]. Araf vd., Ridge Regresyon ile MAE değerini 2215000 olarak elde etmişlerdir [3].

Aggarwal ve Saini AMS veri seti üzerinde LSR ve ileri beslemeli sinir ağından (FFNN) oluşan topluluk modellerinin en optimum performansı MAE değeri 2411989.61 olarak elde ettiğini ifade etmişlerdir [6]. Torres-Barran vd., çalışmalarında Rastgele Orman Regresyonunun (RFR), Gradyan Arttırılmış Regresyonun (GBR), Aşırı Gradyan Arttırma (XGB) gibi yapay zekâ metotlarının küresel ve yerel rüzgâr enerjisi tahminine ve ayrıca güneş radyasyonu problemine uygulanmasını incelemiştir. Güneş radyasyonunu tahmin etmek için AMS veri setini kullanmışlardır. GBR ile test, tahmin, eğitim MAE sonuçlarını sırasıyla 2191300, 1876700 ve 1705500 olarak bulurken; XGB ile sırasıyla 2190900, 1910400 ve 1360300 olarak elde etmişlerdir [7]. Nematirad ve Pahwa, radyasyon, sıcaklık, basınç, nem, rüzgâr hızı, rüzgar yönü, gün doğumu saati ve gün batımı saatinden oluşan veri setini Bayesian optimizasyonlu çok katmanlı bir algılayıcı (MLP) ve ANN kullanarak güneş radyasyonu tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Pearson Korelasyon Katsayıları (PCC) uygulandığında ANN algoritması ile MAE değerini 109.45 olarak elde ederken, PCC olmadan ANN algoritması ile MAE değerini 111.24 olarak elde etmişlerdir [8].

Yarışma 2014 yılında düzenlenmesine rağmen veri seti üzerinde güneş enerji tahmininin iyileştirmesine yönelik çalışmalar halen devam etmektedir. Bu çalışmada K-En Yakın Komşu (KNN), Aşırı Gradyan Arttırma (XGB) ve torbalama algoritmaları AMS veri seti ile eğitilmiş ve sonuçlar verilmiştir. Modellerin performanslarını artırabilmek için bazı hiper parametre değerleri değiştirilmiş ayrıca değiştirilen parametreler ve değerleri tablolar ile verilmiştir. Çalışmada en optimum sonucu torbalama algoritması vermiştir. Torbalama algoritmasının içerisinde bulunan regresyon modelleri değiştirilerek en optimum sonuç “Decisiontreeregressor()” kullanılarak MAE değeri 1340765.665225403 olarak elde edilmiştir. Çalışmanın geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir; ikinci bölümde çalışmada kullanılan veri seti ve makine öğrenme modelleri kısaca açıklanmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde modellerin eğitiminden elde edilen bulgular verilmiştir. Çalışmanın dördüncü ve son bölümünde ise araştırma bulguları yorumlanmıştır.

2. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde çalışmada kullanılan materyallerin kısaca açıklamaları verilmiştir ve çalışmanın yöntemi anlatılmıştır.

2.1. Veri Seti

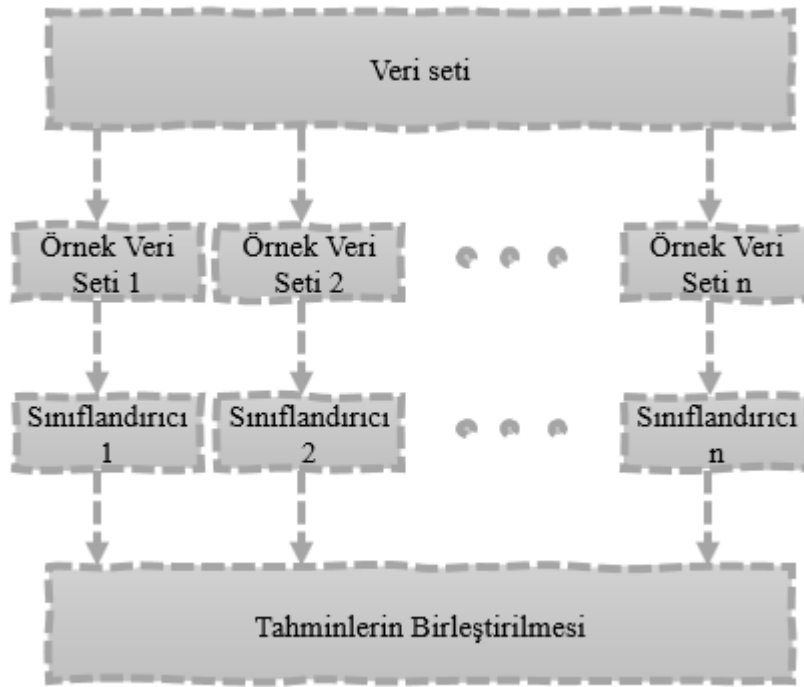
Çalışmada kullanılan veri seti kaggle platformundan alınmış olup, Amerikan Meteoroloji derneği 2013-2014 Güneş Enerjisi Tahmin Yarışması için eklenen verilerden oluşmaktadır. Veri setinin içerisinde bulunan veriler “güneş enerjisi çiftlikleri” olarak hizmet veren 98 Oklohoma Mesonet alanından elde edilen verilerden oluşmaktadır. Sayısal hava tahmini için giriş verileri NOAA/ESRL Yerel Topluluk Tahmin Sisteminden (GEFS- Global Ensemble Forecast System) elde edilmiştir (reforecast version 2) ve 15 meteorolojik veriden oluşmaktadır. Çalışmada mesonet noktalarına yakın olan GEFS istasyon verileri dikkate alınmıştır. Çıkış verisi ise ışıdır. Giriş ve çıkış verileri tablo 1’de verilmiştir. Veri seti ayrıca her istasyonun konum koordinatlarını ve yükseltisini de içermektedir. Veriler 1994-2007 yılları arasındaki verilerden oluşmaktadır [9]. Çalışmada uygulanan modeller için veri seti %25 test ve %75 eğitim için ayrılmıştır.

Tablo 1. Veri Setinde Bulunan Giriş ve Çıkış Verileri [9]

Değişken	Tanım
apcp_sfc	Yüzeyde 3 saatlik birikmiş yağış
dlwrf_sfc	Yüzeyde aşağı doğru uzun dalga ışıdır akısı ortalaması
dswrf_sfc	Yüzeyde aşağı doğru kısa dalga ışıdır akısı ortalaması
pres_msl	Ortalama deniz seviyesinde hava basıncı
pwat_eatm	Atmosferin tüm derinliği boyunca Yağışa çevirilebilir su oranı
spfh_2m	Yerden 2 m yükseklikte Özgül Nem
tcde_eatm	Atmosferin tüm derinliği boyunca toplam bulut örtüsü
tcolc_eatm	Tüm atmosferdeki sütuna entegre toplam yoğunlaşma.
tmax_2m	Yerden 2 m yükseklikte son 3 saatteki Maksimum Sıcaklık
tmin_2m	Yerden 2 m yükseklikte son 3 saatteki Minimum Sıcaklık
tmp_2m	Yerden 2 m yükseklikte mevcut sıcaklık
tmp_sfc	Yüzey sıcaklığı
ulwrf_sfc	Yüzeyde yukarı doğru uzun dalga radyasyonu
ulwrf_tatm	Atmosferin üst kısmında yukarıya doğru uzun dalga radyasyonu
uswrf_sfc	Yüzeyde yukarıya doğru kısa dalga radyasyonu

2.2. Torbalama (Bagging) Algoritması

Breiman tarafından geliştirilmiş olan topluluk öğrenme algoritmalarındandır [10]. Torbalama algoritması kısaca şu şekilde işler; orijinal eğitim veri seti olan $D_{Eğitim}$ 'in boyutu N olsun, $D_{Eğitim}$ değiştirilerek her biri N boyutundan olan n adet torba oluşturulur. Oluşturulan tüm torbalar $D_{Eğitim}$ 'in alt kümesidir ve n örnek torbaları yinelenen örneklerle sahip olabilir. Burada n torba, sınıflandırıcı ile tahmin edilir ve etiketlenir. Nihai etiket ise çoğunluk oyu kullanılarak birleştirilir [11]. Torbalama yönteminde temel amaç birden fazla eğitim alt kümesi oluşturulup birkaç zayıf öğrenme modeli elde edilerek çeşitlilik oluşturabilmektir [12]. Akış şeması ise şekil 1 ile verilmiştir.



Şekil 1. Torbalama Algoritması

2.3. KNN Algoritması

Makine öğrenmesinde regresyon ve sınıflandırma problemlerinde kullanılan, gözlemlerin birbirlerine olan benzerliklerinden tahminlerin yapıldığı denetimli öğrenme metotlarından bir tanesidir [13]. Sınıfı bilinmeyen bir verinin ait olacağı sınıf ise şu şekilde belirlenir; eğitim veri setinde bulunan sınıfı bilinen verilerle karşılaştırılır, uzaklık ölçümleri yapılır, k kadar yakın komşuya bakılır ve en optimal sınıf atanır. Algoritmada k değerinin seçimi büyük öneme sahiptir [14]. Komşu yakınlıklarını belirlemede Öklid, Manhattan, Minkowski, Chebyshev gibi farklı mesafe ölçütleri kullanılabilir. Uzaklık ölçütlerinin formülleri denklem 1-4 ile verilmiştir [15].

$$d_{\text{öklid}}(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (1)$$

$$d_{\text{manhattan}}(p, q) = \sum_{i=1}^n |p_i - q_i| \quad (2)$$

$$d_{\text{chebyshev}}(p, q) = \max_i (|p_i - q_i|) \quad (3)$$

$$d_{\text{minkowski}}(p, q) = \sqrt[m]{\sum_{i=1}^n |p_i - q_i|^m} \quad (4)$$

Büyük eğitim setleri ile çalışmak gerektiğinde etkili sonuçlar elde edilebilir. Basit bir yapıya sahiptir. Hesaplama maliyeti yüksektir. Maliyeti azaltmak için temel bileşenler analizi gibi yöntemler uygulanabilir. Komşu sayısı, uzaklık ölçütü gibi hiper parametrelere duyarlıdır [16].

2.4. XGB Algoritması

XGB algoritması, temeli gradyan artırma algoritmasından oluşan bir topluluk öğrenme algoritmasıdır. Aşırı öğrenmeyi kontrol edebilmek için daha düzenli bir model biçimlendirmesine sahiptir. Son yıllarda geliştirilmiş olan en başarılı algoritmalarından biridir ve iyi bir performans sağlar [17]. Model, birden fazla karar ağacını yapısında bulundurur. Her ağaç bir önceki ağacın artıklarına bakıp oluşturulacak yeni bir karar ağacı bulmak için bir gradyan algoritması kullanır. Nihai karar, birden fazla karar ağacı tarafından ortaklaşa verilir ve tüm ağaçların sonuçları, nihai tahmin sonucu olarak toplanır [18].

2.5. Performans Değerlendirme Metrikleri

Performans değerlendirme metrikleri yapay zekâ modellerinin performanslarının birbirleriyle nicel kıyaslamalarının yapılabilmesine yardımcı olan değerlendirme kriterleridir. Korelasyon Katsayısı (R), Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Karesel Hata (RMSE), vb. gibi pek çok farklı değerlendirme metrikleri bulunmaktadır [19]. Yarışma için belirlenen performans değerlendirme metriği MAE olduğundan, bu çalışmada MAE kullanılmıştır [9]. MAE, tahmin edilen değerlerin gerçek değere göre tutarsızlığını ve yakınlığı ölçer. Formülü denklem 5 ile verilmiştir [20].

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i - x_i^*| \quad (5)$$

Denklem 5'te x_i gerçek değeri, x_i^* tahmin edilen değeri, N örneklem büyüklüğünü ifade eder [20].

3. ARAŞTIRMA SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Çalışmada kaggle açık erişimli internet sitesinden alınmış olan “AMS 2013-2014 Solar Energy Prediction Contest” veri seti kullanılmıştır. Veri setine, normalizasyon gibi veri ön işleme uygulamaları yapılmıştır. Veri seti %75 eğitim, %25 test işlemi için ayrılmıştır. KNN, XGB ve torbalama algoritmalarının bazı hiper parametreleri değiştirilerek eğitim ve test işlemleri yapılmıştır. KNN için 1-10 aralığında k değerleri değiştirilerek modelin performans değişimi gözlenmiştir. KNN için k değerinin 3 seçildiği durumda modelin en optimum performansı gösterdiği belirlenmiştir. Seçilen k değeri arttıkça model performansının düştüğü gözlenmektedir. Ayrıca programın çalışma süresinde artış göstermektedir. Farklı k değerlerinde elde edilen MAE değerleri ve program çalışma süreleri tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. KNN için 1-10 arası farklı k değerlerinde model performansının değişimi

K Değeri	MAE	Süre
1	1611833.6273619172	3.24 sn
2	1489634.819324813	3.8 sn
3	1480927.963742027	4.42 sn
4	1509196.4909355068	5.16 sn
5	1554303.4352154161	6.16 sn
6	1613056.1493372929	6.98 sn
7	1676736.1196944178	7.8 sn
8	1738196.5805825863	8.71 sn
9	1795060.6439032094	9.16 sn
10	1844720.7190158777	9.67 sn

Uygulanan XGB modeli için farklı öğrenme oranı değerlerinde modelin performans değişimi gözlenmiştir. Literatürdeki çalışmalarda uygulandığı gözlemlenen öğrenme oranları, model için seçilmiş, en optimum sonuçlar tablo 3’ten görüldüğü gibi öğrenme oranının 0.5 olduğu durumda elde edilmiştir.

Tablo 3. XGB için farklı öğrenme oranı değerlerinde model performansının değişimi

Öğrenme Oranı	MAE	Süre
0.001	14956449.390187692	49,8 sn
0.005	10081151.657945102	51 sn
0.01	6460161.9157223655	50.9 sn
0.05	2186570.4850411913	51.9 sn
0.1	2100255.174711521	51.5 sn
0.5	1960014.6653900181	49.3 sn

Veri setine KNN ve XGB’den sonra torbalama algoritması da uygulanmıştır. Torbalama algoritmasında ana veri setinden alt veri setleri oluşturulduktan sonra her alt veri setinin kararı

bir tahminleyici ile belirlenir. Burada tahminleyici seçimi de algoritma için bir hiper parametredir. Eğer seçim yapılmazsa varsayılan tahminleyici karar ağacıdır. Çalışmada farklı tahminleyiciler seçilerek torbalama algoritması eğitimleri tekrarlanmış, sonuçlar ve süreler tablo 4’te verilmiştir. Torbalama algoritmasının en optimum sonuçları “Decisiontreeregressor()” kullanılarak elde edildiği ifade edilebilir.

Tablo 4. Torbalama algoritması için farklı regresyon yapılarının model performansı üzerindeki etkisi

Regresyon Modeli	MAE	Süre
Decisiontreeregressor()	1340765.665225403	1 dk 1sn
Kneighborsregressor()	1564267.6458632224	1 dk 3sn
Lgbmregressor()	2133547.7094118665	37.1 sn
Randomforestregressor()	1352458.4308603683	1 sa 14 dk 11sn
Linearregression()	2451886.258907715	3.73 sn

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada AMS 2013-2014 Güneş Enerjisi Tahmin Yarışması için açık erişimli paylaşılan veri seti üzerinde literatürdeki çalışmalara alternatif olabilecek yöntemler uygulanmıştır. Çalışmadan şu sonuçlar çıkarılabilir;

- Makine öğrenme modellerinin farklı hiper parametre ayarlamaları yapılarak elde edilecek MAE değerleri optimum sonuca yaklaştırılabilir. Modellerden KNN en optimum değeri k komşu sayısı 3 olarak seçildiğinde MAE değeri 1480927.963742027 olarak vermiştir. XGB algoritması ise 0.5 öğrenme oranı ile en optimum sonucu vermiştir. Öğrenme oranı 0.5 seçildiğinde elde edilen MAE değeri 1960014.6653900181 olmaktadır. Torbalama algoritmasında alt veri seti tahminleyicisi karar ağacı seçildiğinde en optimum sonucu MAE değeri 1340765.665225403 olarak vermiştir.
- Makine öğrenme modellerinden en optimum sonuçlar MAE değeri 1340765.665225403 olarak belirlenen torbalama algoritması ile elde edilmiştir.
- Süre olarak en optimum zamanı KNN algoritması k değeri 1 olarak seçildiğinde 3.24 sn olarak vermiştir, ancak MAE değeri optimum elde edilen değere uzak kalmıştır.

Sonuçta çalışma için torbalama algoritmasının çalışmada uygulanan diğer modellere göre iyi performans verdiği gözlenmiştir ve önerilmiştir. Veri seti açık erişimli yayımlandığından, bu çalışma bilimsel araştırmalar için referans olarak kullanılabilir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan “AMS 2013-2014 Solar Energy Prediction Contest” veri setinin açık kaynak verilerini internet sitelerinde (Kaggle) kullanıma açan herkese teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Çalışma, araştırma ve yayın etiğine uygundur.

KAYNAKLAR

- [1] M. Kozak ve Ş. Kozak, “Enerji depolama yöntemleri,” *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4(2), 17-29, 2012.
- [2] B. Saad, A. El Hannani, R. Errattahi, and A. Aqqal, “Assessing the impact of weather forecast models combination on the ams solar energy prediction,” *In 2020 Fourth International Conference On Intelligent Computing in Data Sciences (ICDS)*, pp. 1-5, 2020. IEEE. Doi: <https://doi.org/10.1109/ICDS50568.2020.9268767>
- [3] I. Araf, H. Elkhadiri, R. Errattahi, and A. El Hannani, “Ams solar energy prediction: A comparative study of regression models,” *In 2019 Third International Conference on Intelligent Computing in Data Sciences (ICDS)*, pp. 1-5. IEEE, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1109/ICDS47004.2019.8942237>
- [4] A. Zameer, F. Shahid, M. Afzal, and M. Hassan, “Intelligent forecast models for daily solar energy prediction,” 2022.
- [5] D. Díaz–Vico, A. Torres–Barrán, A. Omari, and J. R Dorronsoro, “Deep neural networks for wind and solar energy prediction,” *Neural Processing Letters*, 46, pp. 829-844, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11063-017-9613-7>
- [6] S. K. Aggarwal, and L. M. Saini, “Solar energy prediction using linear and non-linear regularization models: A study on AMS (American Meteorological Society) 2013–14 Solar Energy Prediction Contest,” *Energy*, 78, pp. 247-256, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.10.012>
- [7] A. Torres-Barrán, Á. Alonso, and J. R. Dorronsoro, “Regression tree ensembles for wind energy and solar radiation prediction,” *Neurocomputing*, 326, pp. 151-160, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.05.104>

- [8] R. Nematirad, and A. Pahwa, “Solar radiation forecasting using artificial neural networks considering feature selection,” *In 2022 IEEE Kansas Power and Energy Conference (KPEC)*, pp. 1-4, IEEE, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1109/KPEC54747.2022.9814765>
- [9] BoomerSooner, StormMiner, Will Cukierski, “AMS 2013-2014 Solar Energy Prediction Contest,” *kaggle.com*, 2013. [Online]. Available: <https://kaggle.com/competitions/ams-2014-solar-energy-prediction-contest> [Accessed: Oct. 22, 2023]
- [10] L. Breiman, “Bagging predictors,” *Machine learning*, 24, pp. 123-140, 1996.
- [11] S. Agarwal and C. R. Chowdary, “A-Stacking and A-Bagging: Adaptive versions of ensemble learning algorithms for spoof fingerprint detection,” *Expert Systems with Applications*, 146, 113160, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.113160>
- [12] T. Xia, P. Zhuo, L. Xiao, S. Du, D. Wang, and L. Xi, “Multi-stage fault diagnosis framework for rolling bearing based on OHF Elman AdaBoost-Bagging algorithm,” *Neurocomputing*, 433, pp. 237-251, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.10.003>
- [13] S. Tafralı, “K-en yakın komşu algoritması nasıl çalışır?” *miuul.com*, 2022. Erişim Adresi: <https://miuul.com/not-defteri/k-en-yakin-komsu-algoritmasi-nasil-calisir> [Erişim Tarihi: 05.11.2023]
- [14] G. Dilki ve Ö. D. Başar, “İşletmelerin İflas Tahmininde K-En Yakın Komşu Algoritması Üzerinden Uzaklık Ölçütlerinin Karşılaştırılması,” *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19(38), 224-233, 2020.
- [15] E. Gül ve M. Kalyoncu, “Ağır Vasıta Hava Kompresörü Piston Segmanı Aşınması Durumlarında K-En Yakın Komşu Algoritmasının Sınıflandırma Performansının İncelenmesi,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 78-90, 2020.
- [16] E. Taşcı ve A. Onan, “K-en yakın komşu algoritması parametrelerinin sınıflandırma performansı üzerine etkisinin incelenmesi,” *Akademik Bilişim*, 1(1), 4-18, 2016.
- [17] H. Abar, “Xgboost Ve Mars Yöntemleriyle Altın Fiyatlarının Kestirimi,” *Ekev Akademi Dergisi*, (83), 427-446, 2020.
- [18] S. Guan, Y. Wang, L. Liu, J. Gao, Z. Xu, and S. Kan, “Ultra-short-term wind power prediction method based on FTI-VACA-XGB model,” *Expert Systems with Applications*, 235, 121185, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121185>
- [19] M. F. Bekçioğulları, B. Dikici, H. Açıkgöz ve Ö. F. Keçecioğlu, “Güneş Enerjisinin Kısa-Dönem Tahmininde Farklı Makine Öğrenme Yöntemlerinin Karşılaştırılması,” *EMO Bilimsel Dergi*, 11(22), 37-45, 2021.

Fatmanur ATEŞ, Ramazan ŞENOL, “Regresyon Yöntemleri ile Güneş Enerjisi Tahmini”, Yekarum e-Dergi, 8/2 (2023) 67-77

[20] Ö. A. Karaman ve Y. Bektaş, “Makine Öğrenmesi ve Optimizasyon Yöntemleri ile Uzun Dönem Elektrik Enerjisi Tahmini: Türkiye Örneği,” *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 285-292, 2023.



Süleyman Demirel Üniversitesi

YEKARUM e-DERGİ

(Journal of YEKARUM)



Cilt 8 , Sayı 2 , 105-113 , 2023
E - ISSN:1309-9388

Dielektrik Bariyer Deşarj(DBD) Ozon Reaktörü Tasarımı ve Prototip İmalatı

İhsan YÜREKLİ^{1*}, Remzi VAROL²

^{1*} Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0334-6528), ihsanyurekli06@gmail.com

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2427-0710), remzivarol@sdu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 20/11/2023 ve Kabul Tarihi 06/12/2023)

ÖZET:

Sürekli artış gösteren insan nüfusunun meydana getirdiği çevre kirliliği, artan salgın hastalıklar, artan gıda ve temiz su ihtiyacı gibi birçok etkenden dolayı günümüzde başta hava, ortam, su, gıda sektörleri olmak üzere birçok sektörde sterilizasyon ihtiyacı artmıştır. Havada ve suda düşük kalıntı bırakarak çözünebilirliği, gıdalara uygulanabilirliği ve yapay olarak üretilebilen tek doğal dezenfektan olması gibi birçok üstün özelliğiyle ozon bileşiği (O₃) sterilizasyon alanında gittikçe artan bir öneme sahiptir. Bu çalışmada ortam sterilizasyonu amacıyla DBD plazma yöntemi ile çalışan ozon reaktörü üretimi hedeflenmiştir. Yapılan tasarımdaki reaktör bileşenlerine, bu bileşenlerin imalatında kullanılacak olan malzeme çeşitlerine ayrıntılı olarak değinilmiştir. Üretilen prototip ozon reaktörünün etkinliğinin ölçülmesi amacıyla, yüzeyde ve sıvıda olmak üzere Enterovirüs ve Clostridium bakterileri numuneleri üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Yüzeyde bulunan Enterovirüs üzerinde %89,90 seviyesinde, Clostridium bakterisi üzerinde ise %93 seviyesinde giderme verimi elde edilmiştir. Sıvı içerisinde bulunan Enterovirüs üzerinde %89,90 seviyesinde, Clostridium bakterisi üzerinde ise %61,30 seviyesinde giderme verimi elde edilmiştir. Bu makalede testlerde kullanılan Enterovirüs ve Clostridium bakterilerinin test numuneleri üzerindeki konsantrasyonunun test öncesinde ve sonrasındaki değerlerine de yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plazma, Ozon, Dielektrik Bariyer Deşarj (DBD), Ozon Reaktörü, Tasarım, Talaşlı İmalat

Dielectric Barrier Discharge (DBD) Ozone Reactor Design and Prototype Manufacturing

ABSTRACT:

Due to various factors such as the continuously increasing human population leading to environmental pollution, rising incidence of infectious diseases, and the growing demand for food and clean water, the need for sterilization has increased in many sectors, particularly in the fields of air, environment, water, and food. Ozone compound (O₃) has become increasingly important in the field of sterilization due to its superior features such as low residue in air and water, applicability to food, and being the only naturally occurring disinfectant that can be artificially produced. In this study, the production of an ozone reactor operating with the Dielectric Barrier Discharge (DBD) plasma method is aimed for environmental sterilization purposes. The reactor components in the design and the

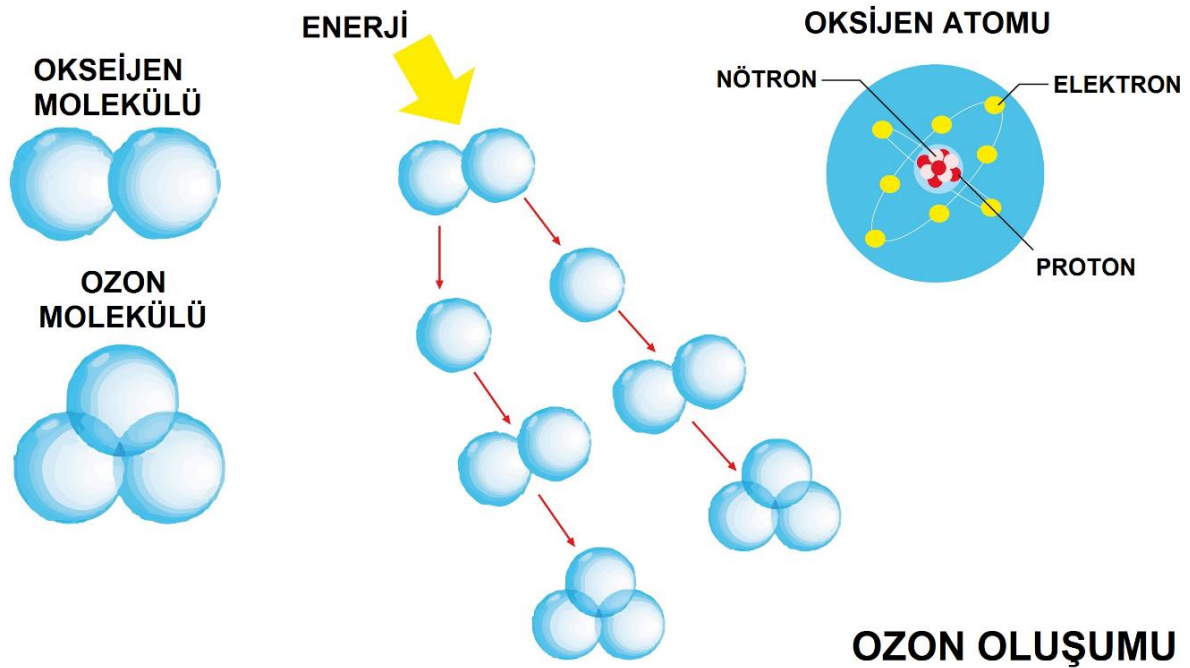
* Sorumlu yazar E-mail: ihsanyurekli06@gmail.com

types of materials to be used in the manufacture of these components are detailed. To measure the effectiveness of the produced prototype ozone reactor, tests were conducted on samples of Enterovirus and Clostridium bacteria both on surfaces and in liquids. A removal efficiency of 89.90% was achieved on Enterovirus on surfaces and 93% on Clostridium bacteria. In liquid, a removal efficiency of 89.90% was obtained on Enterovirus, while it was 61.30% on Clostridium bacteria. This article also provides information on the concentration of Enterovirus and Clostridium bacteria in the test samples before and after the tests.

Keywords: *Plasma, Ozon, Dielectric Barrier Discharge (DBD), Ozon Reactor, Design, Machining*

1. GİRİŞ

Oksijen (O_2), dünya gezegeninde yaşamın başlangıcından bu yana insan, bitki, hayvan ve diğer canlı organizmaların yaşamını sürdüren fotosentez ve solunum olaylarında en çok kullanılan, en bol bulunan ve temel elementlerden biri olmuştur [1]. Karakteristik olarak oda sıcaklığında keskin kokulu ve renksiz bir gaz olan ozon (O_3), havada bulunan oksijen molekülünün (O_2) yüksek bir enerjiyle parçalanmasıyla kararsız hale gelerek başka bir oksijen atomuyla hızlı bir şekilde bağ oluşturmasıyla Şekil 1.'de görüldüğü gibi oluşmaktadır [2-4]. Normal sıcaklık ve basınç değerleri koşullarında son derece kararsız bir yapıda olan ozon, suda ve havada kısmen çözünebilmektedir. Ticari olarak temin edilebilmesiyle gıdalara uygulanabilen tek doğal dezenfektandır [5-8].



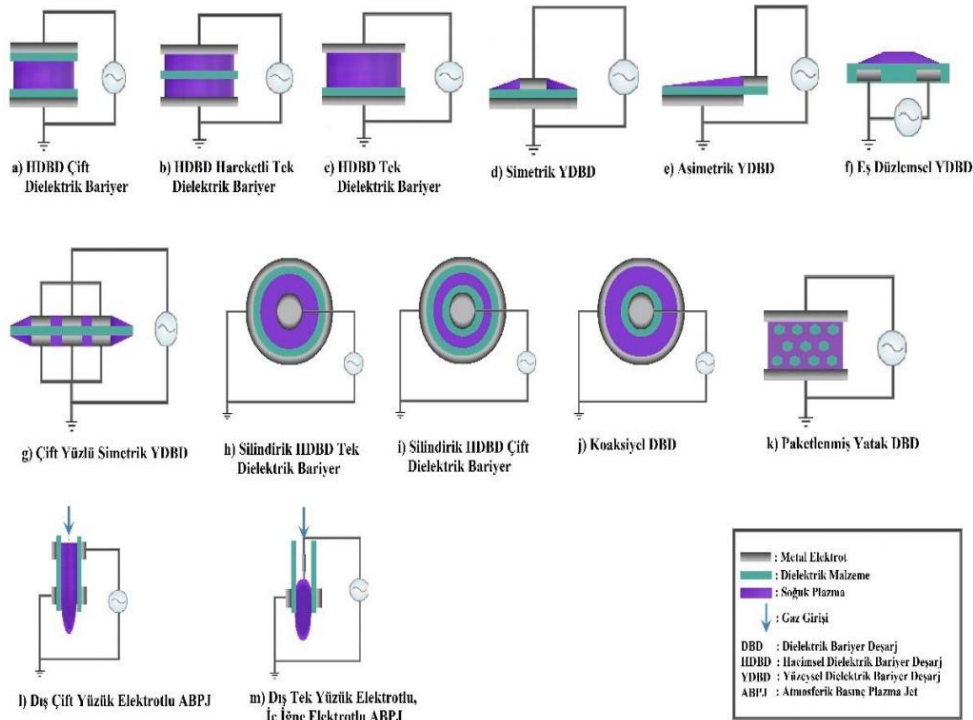
Şekil 1. Ozon oluşumunun şematik olarak gösterimi [9].

Ozon, temel olarak gaz ve sıvı fazda çeşitli alanlarda kullanılabilir. Ozonun kullanım alanları arasında; suyun bakteri ve virüslerden arındırılması, bulanıklık, koku, renk, tat

iyileştirmeleri, tarım ilacı ve zararlı madde kalıntılarının arındırılması, atık su tesisleri, soğuk hava deposu, hastane, hamam, otel odası, yüzme havuzu, havaalanı, okullar, kafeler, restoranlar gibi ortak kullanım alanlarının sterilizasyonu, sağlık alanında enfeksiyon giderme, kilo verme, dolaşım bozuklukları, cilt hastalıkları, nörolojik hastalıklar, zor iyileşen enfekte yaralar, fabrika baca kokularının giderilmesi, araç içerisindeki klima ve diğer etkenlerden kaynaklanan genel kokuların giderimi, tekstil endüstrisinde renk ağartma ve kumaş terbiyesi gibi işlemler, gıda endüstrisinde süt ürünleri fabrikalarında, et işleme tesislerinde, meyve-sebze tesislerinde, seralarda, şişe ve yemek kaplarının dezenfeksiyon işlemleri bulunmaktadır. Endüstrideki birçok firma, üniversite ve araştırma kurumlarında ozonun farklı alanlarda kullanılabilirliği hakkında AR-GE çalışmaları devam etmektedir [10-15].

Şu anda, ozonu yapay olarak üretmek mümkündür [16]. Ozon ticari olarak, korona akım metodu ve dielektrik bariyer deşarj metodu kullanılarak oksijen moleküllerinin (O_2) elektrik akımından geçirilmesiyle üretilmektedir [17,18]. Dielektrik malzeme ve metal elektrotlar arasında bulunan deşarj aralığında plazma oluşturulması prensibi ile çalışan dielektrik bariyer deşarj (DBD) plazma ozon cihazları, dezenfeksiyon ve sterilizasyon için kullanılabilen olup, pahalı vakum ekipmanı veya zararlı kimyasallar gerektirmediği için ekonomik ve çevre dostu bir seçenektir. Plazma ozonunun (O_3) sterilizasyonu, mikroorganizmaları fiziksel veya kimyasal işlemlerle yok eden veya büyümesini önleyen bir sterilizasyon tekniğidir [19].

Atmosfer basıncında AC deşarjı kullanan DBD plazma, daha fazla ısı üreten DC plazmaya kıyasla ısı üretim miktarını azaltabilir. Elektrotu çevreleyen dielektrik, düşük sıcaklıkta plazma üretmek için en yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir ve atmosferik basınçta sürekli çalışma avantajına sahiptir [20]. Dielektrik bariyer deşarj yönteminin farklı konfigürasyonları Şekil 2'de gösterilmiştir.



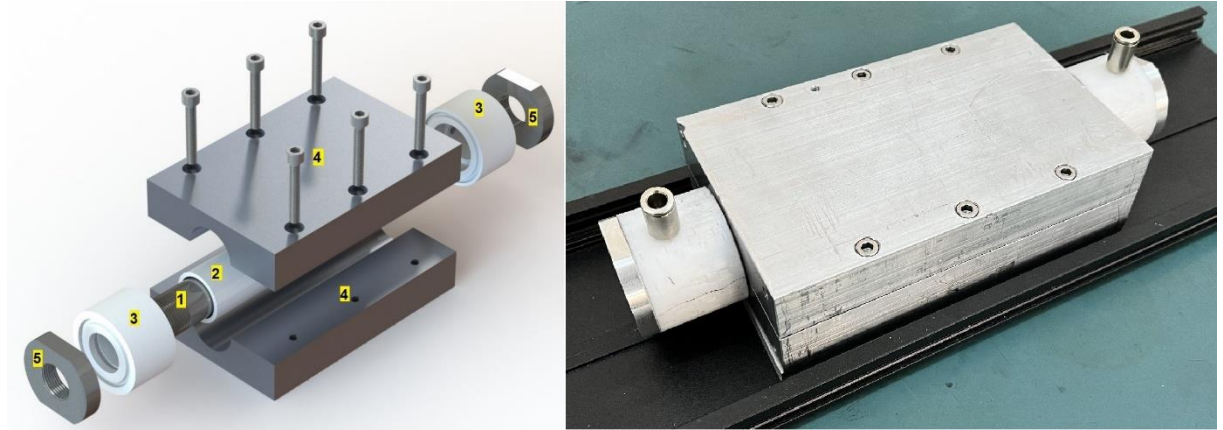
Şekil 2. Dielektrik bariyer deşarj yönteminin farklı uygulanma çeşitleri. [21].

Bu çalışmada alan sterilizasyonu amacı ile malzeme ve talaşlı imalat işlemleri açısından uygun maliyetli, ozonun aşındırıcı ve korozif etkilerine karşı en uzun dayanıma sahip ozon reaktörü tasarımı hedeflenmiştir. Ozon reaktörlerinde yaygın olarak kullanılan bir metot olan Corona deşarj yöntemi ile ozon oluşturmak yerine DBD yöntemi ile ozon oluşumu üzerine çalışılarak piyasadaki diğer cihazlardan tasarım ve yöntem açısından fark oluşturan bir cihaz ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL ve METOD

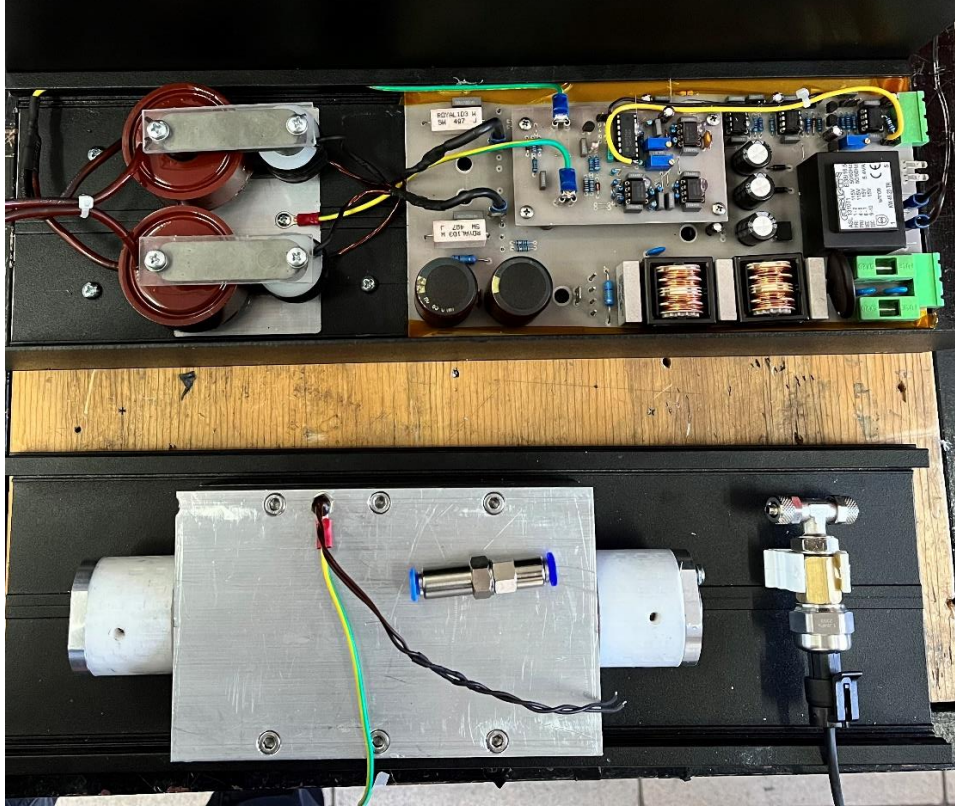
Bu çalışmada endüstriyel ortam sterilizasyonu alanında kullanılması amacıyla dielektrik bariyer deşarj yöntemiyle ozon üretimi amaçlanmıştır. Yapılan cihazın DBD türü silindirik hacimsel tek dielektrik bariyer deşarj olarak seçilmiş ve Solid Works programı yardımıyla tasarımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.1.). Tasarım aşamasında literatür taramaları ve uluslararası patentler incelenerek kullanılan ölçüler yapılan çalışmalardan farklı olarak ilerlemiştir.

Reaktörde kullanılacak malzemeler sırasıyla (Şekil 3.), yüksek voltaj elektrotunda 6XXX serisi alüminyum, dielektrik bariyerde seramik, sistem gaz giriş ve çıkışlarında teflon, topraklama elektrotunda 6XXX serisi alüminyum, yüksek voltaj girişinde de 6XXX serisi alüminyum olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. DBD ozon reaktörünün tasarımı ve montajlanmış halinin görünümü, 1) Yüksek Voltaj Elektrotu, 2) Dielektrik Bariyer, 3) Sistem Gaz Giriş ve Çıkışları, 4) Topraklama Elektrotu, 5) Yüksek Voltaj Girişi.

Seçilen malzemelere göre talaşlı imalat işlemi tamamlanan parçalar bir araya getirilmiş ve reaktörde kullanılacak olan kontrol kartı, yüksek akım trafosu ile birlikte sarf malzeme olarak tedarik edilen eloksallı alüminyum kutunun içerisine montajı yapılmıştır (Şekil 4.). Reaktör, kontrol kartı, yüksek akım trafosunun soğutulması amacıyla 80x80mm ölçülerinde 220V AC fan hava akımının kutunun içerisinden geçmesi için arka kapağa montajlanmıştır (Şekil 5.).



Şekil 4. Ozon reaktörü, yüksek akım trafosu ve kontrol kartının montajlanmış görünümü.



Şekil 5. DBD ozon cihazının ön ve arka görünümleri.

Kontrol kartı ile yüksek akım trafosunun soğutulması için montaj yapıldığı kapağın diğer kısmına alüminyum soğutucu plaka montajı yapılmıştır. Kontrol kartına, yüksek akım trafosu ile fan bağlantısı, DBD ozon reaktörüne ise yüksek voltaj akım trafosu ile sisteme girecek hava ve ozon çıkış hattının bağlantı yapılması ile sistem deneme için hazır hale gelmiştir

(Şekil 6.). DBD ozon reaktörü için daha az ısı açığa çıkarması açısından avantajlı olan AC deşarjı kullanılmıştır. Üzerinde bulunan güç anahtarı yardımı ile AC 220V 50Hz veya AC 110V 60Hz değerlerindeki güçlerde çalışabilmektedir. İki güç değeriyle de denemeler yapılarak deşarj sırasında reaktör ile yüksek akım trafosundaki sıcaklık değerleri kızılötesi termometre yardımıyla ölçülmüş ve sisteme zarar verecek düzeydeki sıcaklık değerlerine rastlanmamıştır.



Şekil 6. Sistemin montajlanmış görünümü.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Tasarım ve üretim aşamaları tamamlanan DBD ozon reaktörünün sorunsuz çalıştığının kesinleştirilmesinin ardından oluşturulan ozonun etkinliğinin bağımsız bir kuruluş tarafından araştırılması amacı ile İzmir Dokuz Eylül Üniversitesinde bulunan Çevre Mühendisliği Bölümü Ölçüm Laboratuvarına test için gönderilmiştir. Burada Enterovirüs ve Clostridium bakterileri üzerinde yüzeyde ve sıvıda uygulanmak üzere teste tabi tutulmuştur.

DBD ozon reaktöründen çıkan gaz halindeki ozonun ortam sterilizasyonundaki etkisinin ölçülmesi amacıyla yüzeydeki Enterovirüs ve Clostridium bakterileri üzerinde test yapılmıştır. Test sonuçlarına göre yüzeyde bulunan Enterovirüs bakteri giderme veriminin %89,90 olduğu yüzeyde bulunan Clostridium bakteri giderme veriminin ise %93 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Yüzeyde uygulanan ozon işleminin test verileri ayrıntılı olarak Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. DBD ozon reaktörünün yüzeydeki etkinliğinin analiz sonuçları.

Plazma Türü	Ölçülen Değerler	Analiz Yöntemi
Enterovirüs Sayımı	T=0'da Enterovirüs Konsantrasyonu: $9,09 \times 10^3$ MPN/ml; Plazma ve Ozon Sistemi ile yüzeyde yapılan işlem sonrası Enterovirüs Konsantrasyonu: $0,92 \times 10^3$ MPN/ml; Enterovirus Giderme Verimi: %89,90.	SM 9510 B, C, F, G
Clostridium Sayımı	T=0'da Clostridium Konsantrasyonu: $5,80 \times 10^3$ adet koloni/100ml; Plazma ve Ozon Sistemi ile yüzeyde yapılan işlem sonrası Clostridium Konsantrasyonu: 4×10^2 adet koloni/100ml; Colostridium Giderme Verimi: %93.	TS 8020 EN 26461-2

DBD ozon reaktöründen çıkan gaz halindeki ozonun sıvılardaki sterilizasyon etkisinin ölçülmesi amacıyla sıvıda bulunan Enterovirüs ve Clostridium bakterileri üzerinde test yapılmıştır. Test sonuçlarına göre yüzeyde bulunan Enterovirüs bakteri giderme veriminin %89,90 olduğu yüzeyde bulunan Clostridium bakteri giderme veriminin ise %61,30 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Yüzeyde uygulanan ozon işleminin test verileri ayrıntılı olarak Tablo 2.’de verilmiştir.

Tablo 2. DBD ozon reaktörünün sıvıdaki etkinliğinin analiz sonuçları.

Plazma Türü	Ölçülen Değerler	Analiz Yöntemi
Enterovirüs Sayımı	T=0’da Enterovirüs Konsantrasyonu: $9,09 \times 10^3$ MPN/ml; Plazma ve Ozon Sistemi ile yüzeyde yapılan işlem sonrası Enterovirüs Konsantrasyonu: $0,92 \times 10^3$ MPN/ml; Enterovirus Giderme Verimi: %89,90.	SM 9510 B, C, F, G
Clostridium Sayımı	T=0’da Clostridium Konsantrasyonu: $6,2 \times 10^3$ adet koloni/100ml; Plazma ve Ozon Sistemi ile sıvıda yapılan işlem sonrası Clostridium Konsantrasyonu: $2,4 \times 10^3$ adet koloni/100ml; Clostridium Giderme Verimi: %61,30.	TS 8020 EN 26461-2

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Analiz sonuçlarının da gösterdiği üzere tasarım ve imalatı tamamlanan ozon reaktörü kullanım amacına göre işlevini başarıyla yerine getirmiştir. Ortam havasının sterilizasyonu için tasarlanan bu cihazın, yüzey ve sıvı sterilizasyonunun gerektiği farklı alanlarda da kullanılabilir olduğu yorumu analiz sonuçlarına göre yapılabilmektedir. Literatürde bulunan diğer araştırmalardan farklı olarak, yüksek aşındırıcı ve korozif özelliğe sahip olan ozonun bu özellikleri göz önünde bulundurularak yapılan araştırmalar sonucunda seçimi yapılan malzemelere ve tasarlanan reaktör bileşenlerine ayrıntılı olarak yer vermeye çalışılmıştır. Artan nüfusun ihtiyaçlarına göre sürekli gelişmekte olan endüstrinin ozona olan ihtiyacı da doğru orantılı olarak artmaktadır. Ozonun farklı alanlardaki kullanımının artmasıyla, kullanım alanına göre deşarj tipi tercihi, ozon ve enerji verimliliğine göre çeşitlenecektir. Daha yüksek seviyelerde ozon üretimi için yapılan sistemlerin soğutma özelliklerinin artırılması yüksek güç ve yüksek basınçta kullanıma daha uygun hale getirerek ozon veriminin artacağı da öngörülmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Çalışma, araştırma ve yayın etiğine uygundur.

KAYNAKLAR

- [1] E.S.M. Mouele, J.O. Tijani, O.O. Fatoba, L.F. Petrik, Degradation of organic pollutants and microorganisms from wastewater using different dielectric barrier discharge configurations-a critical review, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22 (2015) 18345–18362,
- [2] Karaca H. 2006. Meyve ve Sebze İşlemede Ozon Uygulamaları. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora semineri, 28 s, Ankara.
- [3] Anonim. 2008. Ozon Sağlık Hizmetleri. www.ozon.com.tr (Erişim tarihi: 13.11.2023).
- [4] Sevilgen Ö. 2009. Ozon, Klor ve Hidrojen Peroksit Uygulamalarının Pazıda Klorofil Miktarı Üzerine Etkileri. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 75s, Ankara.
- [5] Restaino L., Frampton E. W., Hemphill J. B., Palnikar P. 1995. Efficacy of Ozonated Water Against Various Food-Related Microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*, 61 (9): 3471–3475
- [6] Kim J. G., Yousef A. E., Dave S. 1999. Application of Ozone for Enhancing the Microbiological Safety and Quality of Foods: A Review. *Journal of Food Protection*, 62 (9): 1071-1087.
- [7] Cemeroglu B., Yemenicioğlu A., Özkan M. 2001. Meyve ve Sebzelerin Bileşimi Soğukta Depolanmaları. *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, No:24: 88-95, Ankara.
- [8] Mahapatra A. K., Muthukumarappan K., Julson J. L. 2005. Applications of Ozone, Bacteriocins and Irradiation in Food Processing: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(6): 447– 461.
- [9] Anonim. 2023. How Ozone Was Formed First Of All. www.vedantu.com (Erişim tarihi: 16.11.2023).
- [10] Greene A. K., Few B. K., Serafini J. C. 1993. Ozonated vs Chlorinated Sanitization of Stainless Steel Surfaces Soiled with Milk Spoilage Organisms. *Journal of Dairy Science*, 76: 3617–3620.
- [11] Khadre M. A., Yousef A. E., Kim J. G. 2001. Microbiological Aspects of Ozone Applications in Food: A Review. *Journal of Food Science*, 66 (9): 11243-1252
- [12] Rubin M. B. 2001. The History of Ozone. *Bulletin History Chemistry*, 26 (1): 40-56
- [13] Boci V. 2002. *Oxygen-Ozone Therapy: A Critical Evaluation*. Springer, 1-8.

- [14] Ketteringham L., Gausseres R., James S. J., James C. 2006. Application of Aqueous Ozon for Treating Pre-Cut Green Peppers (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Engineering*, 76 (1): 104-111.
- [15] Kılıçer T. 2006. Malatya 1. Organize Sanayi Bölgesi Atık Suyunun Aktif Karbon, Zeolit ve Ozon Kullanılarak Arıtımının İncelenmesi. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Malatya
- [16] Çatal H., İbanoğlu Ş. 2010. Gıdaların Ozonlanması. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi* 5(3): 47-55
- [17] Ekici L., Sağdıç O., Kesmen Z. 2006. Gıda Endüstrisinde Alternatif Bir Dezenfektan: Ozon. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1: 47-57.
- [18] Rice R. G., Robson C. M., Miller G. W., Hill A. G. 1981. Uses of Ozone in Drinking Water Treatment. *Journal of the American Water Works Association*, 73 (1): 44–57.
- [19] Kim K, Paik N, Kim Y, Yoo K (2018) Bactericidal efficacy of nonthermal DBD plasma on staphylococcus aureus and Escherichia coli. *J Korean Soc Occupational and Environ Hygiene* 28(1):61– 79.
- [20] Restaino L., Frampton E. W., Hemphill J. B., Palnikar P. 1995. Efficacy of Ozonated Water Against Various Food-Related Microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*, 61 (9): 3471–3475.
- [21] Getizmen Z., 2023. Dielektrik Bariyer Deşarj Paralel Plaka Yöntemi İle Soğuk Plazma Üretimi ve Optimizasyonu. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65- 67s, İzmir.



Süleyman Demirel Üniversitesi

YEKARUM e-DERGI

(Journal of YEKARUM)



Cilt 8 , Sayı 2 , 114-130 , 2023
E - ISSN:1309-9388

Gerçek Zamanlı Göz Bebeği Takip Sistemi için Hibrit Algoritma Geliştirilmesi

Cumali KARA¹, Gürkan BİLGİN^{2*}, Süleyman BİLGİN³

¹ Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği A.D., Antalya, Türkiye
(ORCID: 0000-0003-2291-1983), cu.alikara@gmail.com

^{2*} Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8441-1557), gbilgin@akdeniz.edu.tr

³ Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye
(ORCID: 0000-0003-0496-8943), suleymanbilgin@akdeniz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 23/11/2023 ve Kabul Tarihi 07/12/2023)

ÖZET:

Farklı rahatsızlıkları nedeniyle kısıtlı motor becerilerine sahip, hareket yeteneği yetersiz, çevresi ile etkileşiminde sıkıntı bulunan kullanıcılar için göz takip sistemlerinin kullanımı önemlidir. Gerçekleştirilen bu çalışmada bu tür hastalığı olan kişilerin göz bebeği takibi ile sağladığı etkileşimin hassaslığı ve gücünü kullanarak bilgisayar erişimine yardımcı göz takip algoritması tasarlamak hedeflenmiştir. Motivasyonun sağlanmasında, günümüzdeki sistemlerin, göz bebeği takibi için kızılötesi görüntü algılama sistemlerine ihtiyaç duyması ve bunun gibi gereksinimlerin ek maliyetlere sebebiyet vermesi, bunun yerine taşınabilir kameralı bilgisayarlar üzerinden yazılacak bir algoritma ile takibin yapılması fikri etkili olmuştur. Ayrıca daha önce çalışılmış algoritmalara ilaveten yeni bir göz takip algoritması geliştirilmiştir. Ortaya konulan bu araştırma çalışmasında göz bölgesini tespit edebilmek için, Korelasyon ve Viola-Jones (VJ) algoritmaları birlikte kullanılarak hibrit VJVK (Viola-Jones ve Korelasyon) modeli oluşturulmuştur. VJVK ve VJ sonuçlarındaki farklılıkların incelenebilmesi için iki model için de ayrı ayrı göz bölgesi çalışmaları yapılmıştır. Farklı ışık ve mesafelerde denemeler gerçekleştirilerek algoritmaların performansları değerlendirilmiştir. VJVK ile VJ arasındaki fark hız ve doğrulukta yüzdelik olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca gerçek zamanlı göz bebeğini takip edebilecek sistem yeni oluşturulan VJVK ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü İşleme, Göz Takip, Korelasyon, Viola-Jones

Development of a Hybrid Algorithm for Real-Time Pupil Tracking System

ABSTRACT

The use of eye tracking systems is important for users who have limited motor skills, insufficient mobility, and difficulty in interacting with their environment due to various disorders. In this study, it was aimed to design an eye tracking algorithm that helps people with computer access by using the sensitivity and power of the interaction provided by eye pupil tracking for people with this type of disease. The idea that today's systems require infrared

* Sorumlu yazar E-mail:

image detection systems for pupil tracking and that such requirements cause additional costs, instead of tracking with an algorithm written on computers with portable cameras, was effective in providing motivation. Additionally, a new eye tracking algorithm has been developed in addition to previously studied algorithms. In this research study, a hybrid VJVK (Viola-Jones and Correlation) model was created by using Correlation and Viola-Jones (VJ) algorithms together to detect the eye area. In order to examine the differences in VJVK and VJ results, eye area detection studies were carried out separately for both models. The performances of the algorithms were evaluated by performing experiments in different light and distances. The difference between VJVK and VJ is compared in percentage terms in speed and accuracy. In addition, the system that can monitor the pupil in real time was implemented with the newly created VJVK.

Keywords: *Image Processing, Eye Tracking, Correlation, Viola-Jones*

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak geliştirilen yazılımlar ekonomiden mühendisliğe [1], [2], sağlıktan tarıma [3], [4] birçok farklı sektörde uygulanmaktadır. İnsan hayatı söz konusu olduğunda geliştirilen yazılımlar bir adım daha öne çıkmaktadır. Özellikle göz için geliştirilen uygulamalar günümüzde hala popülerliğini korumaktadır. Göz hareketi takip sistemleri, Bilgisayar-Beyin Arayüzü (BBA) etkileşimlerinde kullanılan temassız kontrol yöntemlerdendir. Göz hareketleri, insanların bir ekran üzerinde yoğunlaştığı ve ilgilendiği kısımlar hakkında bilgi sunabilmektedir [5]. Askeri alanlar, sağlık, pilot ve sürücü davranışları, spor alanları, reklam alanları ve insanların çevreleri ile iletişim kurabilme gibi daha birçok alanda göz hareketleri takip sistemleri sıklıkla tercih edilmektedir [6], [7], [8], [9], [10], [11].

Özellikle, beyin ve kas problemlerine sahip yatalak hastalar, günlük ihtiyaçlarını karşılamada ve bilgisayar kullanımında oldukça zorluk yaşamaktadırlar. Bu tür bireylerin yaşamını kolaylaştırmak adına oldukça fazla bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Teknolojinin hızla gelişmesi sayesinde BBA sistemleri oldukça gelişmiş ve bu tür bireylerin yaşamlarını kolaylaştırmak için hizmete sunulmuştur.

Çalışma kapsamında geliştirilen göz takip sistemi, herhangi bir ek donanım gerektirmeden sadece bilgisayar kamerasından alınan görüntüler sayesinde gerçekleştirilmektedir. Bu sistem, Amyotrofik lateral skleroz (ALS), Multiple skleroz (MS), beyin-omurilik deformasyonu, kas distrofisi ve serebral palsi gibi dejeneratif hastalıkları olan insanların el hareketlerine gerek kalmadan BBA sistemini kontrol edebilme olanakları sunabilecek altyapıyı oluşturmaktadır. Literatür çalışmaları incelendiğinde konu ile ilgili benzer çalışmalar ortaya çıkmıştır.

Bu kapsamda, Hwang ve Ark. yaptığı çalışmada, ALS hastalarının yaşam konforunun artırılması ve hastaya bakan yardımcı bireylerin zorluklarının hafifletilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada göz takibi cihazı kullanan grubun yaşam kalitesi testlerinde önemli ölçüde iyileşme görülmüştür. Ayrıca bu cihazın yardımcıları üzerindeki yükü de belirgin olarak azalttığı ortaya konulmuştur [12]. Sağlık sektöründe gerçekleştirilen bir başka çalışmada Holzman ve ark. göz izleme davranışlarını inceleyerek şizofreni rahatsızlığı üzerinde durmuştur. Uygulamada yüzey elektrotları gözün dışına konumlandırıp toprak elektrodu ise alnın ortasına konumlandırmıştır. Değişen korneoretinal alan kayıtlarını analiz ederek çalışmasını gerçekleştirmiştir [13]. Bir başka çalışmada Kaya ve ark., lazer göz ameliyatlarında önemli rol oynayan göz takibi üzerinde durmuştur. Skeral kan damarlarının özelliklerinin çıkarılması ve hastanın gözündeki deseni takip etmek için görüntü işleme tekniği kullanmıştır [14]. Brandt 1983 yılında yaptığı çalışmasında tasarladığı üzerine bobin yerleştirilmiş özel lensler ile manyetik alan tarafından indüklenen akımları değerlendirmiştir. Göz hareketine bağlı akım değişimleri ile göz hareketi bilgilerini algılayabilmiştir [15]. Durna ve ark. kamera sistemi ile yeni bir binoküler göz bebeği algılama sistemi önermiştir. Kamera sensörü yalnızca kızılötesi görüntüleri geçirecek şekilde modifiyesi yapılarak kamerayla görüntüler elde edilmiştir. Durna ve ark. bu çalışmasında doğrusal olmayan haritalama fonksiyonu kullanarak bakış tahmini çalışması gerçekleştirmişti [16]. Ayrıca kızılötesi ışık kaynağı kişilerin korneasına düşürüldüğünde, ışığın bir kısmı kaynağa geri döner ve kişilerin gözünde bir parıltı oluşur. Kişiler ve ışık kaynağı arasındaki mesafe arttıkça parıltı ile gözbebeğinin orta noktası arasındaki mesafe de artar [17]. Mateo ve ark. kızılötesi ışık kaynağını ekranın her iki tarafından göndererek, Gözbebeği-yansıması tekniğini kullanmıştır. Sonuç olarak bakışla işaretleme ve yüz EMG kombinasyonunun bilgisayar faresinden daha iyi performans gösterme potansiyeline sahip olduğu sonucuna varmışlardır [18].

Bhaskar ve ark. göz kırpma tespiti üzerinden gerçekleştirdiği bir çalışmada sürücülerin yolculuk esnasında gözlerinin kapalı ya da açık olduğunu anlayabilmek için gözün kırpma anı ve kırpma sıklığını tespit edebilmek gerektiğini vurgulamıştır [19]. Sürücülerde yapılan bir başka çalışmada kamera ile elde edilen görüntüler üzerinden VJ algoritması ile yüz ve sağ göz algılaması gerçekleştirilmiş ardından göz durumunu belirlemek için Destek Vektör Makinaları (DVM) ve AdaBoost sınıflandırma tekniği kullanılmıştır. DVM'in AdaBoost' a göre daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir [20]. Everingham ve Zisserman yüz dedektörü tarafından çıkarılan görüntülerden gözlerin konumlandırılması üzerine yaptıkları çalışmada üç yaklaşım kullanmıştır. Bunlar Göz ve göz dışı görünümün basit bir Bayesian modeli, göz konumu tahminlerindeki hatayı en aza indirecek bir regresyon modeli ve AdaBoost kullanılarak eğitilen

Cumali KARA, Gürkan BİLGİN, Süleyman BİLGİN, “Gerçek Zamanlı Göz Bebeği Takip sistemi için Hibrit Algoritma Geliştirilmesi”, Yekarum e-Dergi, 8/2 (2023) 114-130

göz algılayıcısıdır. Sonuç olarak Bayesian modelinin zorlu görüntülere sahip veri tabanlarında en iyi performansı gösterdiği ve performansın daha gelişmiş yöntemlerle karşılaştırılabilir olduğu açıklanmıştır [21]. Viola ve Jones algılama prosedürü olarak pikseller yerine basit özellik değerlerini kullanmanın hem hız açısından daha etkili olacağını belirtmiş hem de sınırlı miktarda eğitim verisi kullanıp öğrenilmesi zor olan geçici alan bilgisini kodlayacak yapıda olduğunu ifade etmişlerdir [22]. Hua ve ark. göz izleme teknolojisine dayalı renk çıkarımı ve akıllı algoritmaya dayalı renk şeması taramasının, animasyonlu görüntü renklerinden ürün renklerine etkili dönüşümü gerçekleştirebildiğini göstermiştir. Gerçekleştirdikleri çalışmada renk karar modelini eğitmek için Çok Katmanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağları (ÇKAYSA) yapısından faydalanmıştır [23].

Arslan ve ark. VIVE Pro Eye cihazını kullanarak sanal gerçeklik ortamında elde ettikleri göz izleme sinyalleri ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Hesaplamalarda toplam sabitleme sayısı, toplam seçirme sayısı ve ortalama gözbebeği çapını değerlerini kullanarak önerilen yaklaşımın objektif göz izleme metriklerini analiz etmek için kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır [24]. Bagherzadeh ve Toosizadeh daha iyi bir göz takibi yapabilmek için Çok Katmanlı Kalman Filtresi (ÇKKF) algoritması geliştirmişlerdir. İlk adımda göz başlangıç noktası belirlenmesi için DVM, ikinci adımda ÇKKF kullanarak gözün bir sonraki konumu tahmin edilmek istenmiştir [25]. Kanhirakadavath ve Chandran otizm hastalığının erken teşhisine yardımcı olabilecek modeli keşfetmek amacıyla göz izleme tarama yolu görüntülerini analiz etmek için çeşitli makine öğrenimi tekniklerini araştırmıştır. Sonuçlarda Derin Sinir Ağı (DSA) modeli, %97 Eğri Altında Kalan Alan (EAKA-AUC) değeri, %93,28 duyarlılık, %91,38 özgülük, %94,46 Negatif Tahmin değeri (NTD) ve %90,06 Pozitif Tahmin Değeri (PTD) (beş kat çapraz doğrulanmış) ile en iyi performansı göstermiştir [26]. Otizm teşhisi için yapılan farklı bir araştırmada Python dilinde VJ olarak bilinen bilgisayarlı görme algoritması kullanılarak DVM'leri destekleyen makine öğrenimi teknolojisini kullanan bir program oluşturulmuş ve %89 gibi yüksek doğruluklarla otizm tespitinde hızlı ve etkili sonuçlara ulaşılmıştır [27].

Tesfamikael ve ark.'nın önerdiği yöntemde PID kontrolörün bir DC motoru kontrol ettiği göz izleme kontrollü elektrikli tekerlekli sandalye kullanılmıştır. Yapılan çalışmada en iyi doğruluk yakalanmaya çalışılmış ve gecikme yanıt süresi en aza indirmek hedeflenmiştir. Sonuçta önerilen model yaklaşık %90'lık bir doğruluğa ulaşmış ve yanıt süresi mevcut yöntemlerle karşılaştırıldığında daha düşük seviyeye ulaşmıştır [28]. En az hata ile daha verimli göz izleme modelinin geliştirilmesi için yapılan bir çalışmada, görüntüden yüz bölgesini çıkaran ve Adaboost algoritmasını temel alan, Haar temel özellik filtrelerinin kullanıldığı VJ algoritması uygulanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, daha verimli göz izleme kalibrasyon süreci

Cumali KARA, Gürkan BİLGİN, Süleyman BİLGİN, “Gerçek Zamanlı Göz Bebeği Takip sistemi için Hibrit Algoritma Geliştirilmesi”, Yekarum e-Dergi, 8/2 (2023) 114-130

için daha az hataya sahip en iyi eğitim modelini elde etmek için Sinir Ağı algoritmasındaki üç eğitim fonksiyonunun performansı ve verimliliği artmıştır [29]. Bir başka önerilen sistemde yüz tanıma için önce VJ algoritması kullanılmış daha sonra SqueezeNet ve U-Net, manüel olarak etiketlenmiş iris ve gözbebeği bölgesini içeren bir eğitim veri seti ile piksel sınıflandırması için modeli eğitmek üzere birleştirilerek kullanılmıştır. Geliştirilen yöntem yüksek doğruluklarla göz takibini sağlayabilmiştir [30].

Bu çalışmada literatür özetinden de anlaşıldığı gibi birçok alanda büyük önem taşıyan, göz takip sistemlerinde kullanılmak üzere göz bebeği tespiti yapılması hedeflenmiştir. Göz bölgesi tespiti ile ilgili yapılan çalışmalarda, genellikle VJ algoritması ve bununla birlikte başka metotlar ile harmanlanarak hibrit yöntemlerin performansları incelenmiştir. Bu araştırmada, VJ algoritması ve geliştirilen yeni teknik (VJVK) kullanılarak göz bebeği tespiti analizlerini gerçekleştirmek, çalışma sonunda ise doğruluk performans karşılaştırmalarını yapmak hedeflenmiştir. Ayrıca kişinin kameraya olan farklı uzaklıklarda olması ve ortamın farklı ışık renklerine sahip olması durumunda yöntemlerin performanslarını değerlendirebilmek amaçlanmıştır.

2. MATERYAL ve METOD

Çalışmada temel amaç göz bebeğini yakalayabilmek için doğruluğu ve tespit hızı yüksek bir algoritma geliştirmektir. Bununla ilgili temel çalışmalar genellikle VJ tabanlıdır. Dolayısı ile bu çalışmada VJ yöntemini baz alarak yeni bir hibrit algoritma geliştirilmiştir. Bu bölümde algoritma içerisinde kullanılan temel adımlar kullanılan materyaller açıklanmıştır.

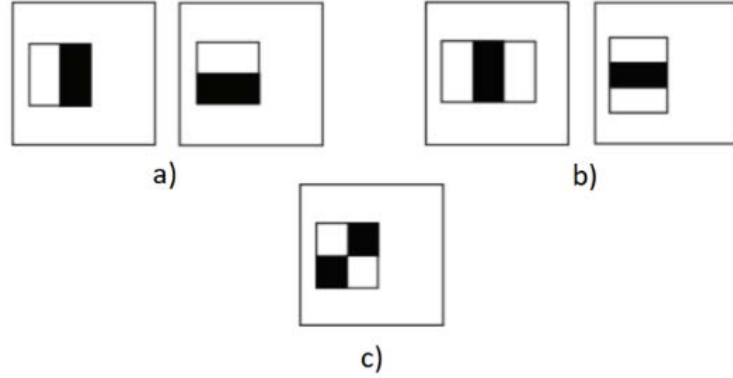
2.1. Viola-Jones Algoritması

Viola ve Jones görüntülerdeki yüz özelliklerinin bulunmasına olanak sağlayan algoritmayı 2001 yılında geliştirmiştir [31]. Oluşturdukları bu algoritma, hızı ve yüksek doğruluk oranları sayesinde gerçek zamanlı algılamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. VJ yaklaşımında görüntüleri sınıflandırmak için Haar özellikleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte, Gupta ve ark. yüz tespiti için, nesnelerin algılanması ve eşleştirilmesine imkân sağlayan iyi doğrulukta çalışan bu algoritmayı kullanmışlardır [32]. Algoritma, Haar özellikleri, İntegral resmi, AdaBoost ve ardışıl sınıflandırıcıları olmak üzere 4 ana alt bileşenden oluşmaktadır.

2.1.1 Haar Özellikleri

Haar özellikleri, siyah ve beyaz gibi iki renkten oluşur ve dikdörtgensel geometrik şeklinde pencereler mantığı ile çalışmaktadır. VJ algoritması içerisinde yer alan Haar özellikleri

bulunurken, Şekil 1’ de verilen dikdörtgensel algılama penceresi içindeki siyah-beyaz bölgelerin piksel parlaklık değerleri toplamalarının farkı hesaplanmaktadır.



Şekil 1. Farklı türde Haar dikdörtgensel özellikler.

Şekil 1(a)’ da gösterilen iki dikdörtgen bölge özellik değeri, dikdörtgen bölgelerin kendi içindeki piksellerin toplamı arasındaki farka eşittir. Şekil 1(b)’ de üç dikdörtgen özelliğinin değeri, dıştaki iki dikdörtgen pencerenin piksel toplamalarının merkezdeki dikdörtgen pencere içerisindeki piksellerin toplamından çıkarılmasıyla bulunur. Şekil 1(c)’ de ise dört dikdörtgen özelliğinin değeri, çapraz dikdörtgen çiftleri arasındaki farktan bulunur.

2.1.2 İntegral Resmi

Haar özelliklerinin pikseller üzerinden çıkarılmasını sağlamak için integral resmi yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntem kullanılarak özelliklerin hesabı daha hızlı yapılabilmektedir. Bu durumda integral imge matematiksel olarak,

$$II(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} I(x', y') \quad (1)$$

Denklem 1’ deki gibi ifade edilir. Denklem 1’ de gösterilen matematiksel ifadede, $II(x, y)$ ile integral imge ve $I(x', y')$ ile orjinal imge verilmiştir. Bu yaklaşım sayesinde tüm Haar özellikler herhangi bir ölçekte ve konumda eşit hesaplamayla yapılabilmektedir.

2.1.3 AdaBoost

Özelliklerin çıkarılmasının ardından yüz bölgesi tespiti için AdaBoost öğrenme algoritması kullanılmıştır. AdaBoost kısaltması Adaptive ve Boosting kelimelerinin birlikte kullanılması ile kısaltılmıştır. VJ’ tan sonra elde edilen özellik kümesi arasından nesne (yüz, hücre, vb.) üzerinde çok azı yüksek özellik değeri verebilmektedir. AdaBoost ise bu özellikler

Cumali KARA, Gürkan BİLGİN, Süleyman BİLGİN, “Gerçek Zamanlı Göz Bebeği Takip sistemi için Hibrit Algoritma Geliştirilmesi”, Yekarum e-Dergi, 8/2 (2023) 114-130

arasından nesneyi en iyi ifade edenlerini belirleyerek güçlü bir sınıflandırıcı meydana getirmektedir. Seçilen özelliklerden zayıf sınıflandırıcılar $h(x,f,p,\theta)$ Denklem 2’ deki gibi hesaplanmaktadır.

$$h(x, f, p, \theta) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } pf(x) < p\theta \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (2)$$

Denklem 2’de, x , algılama penceresinin resim üzerinde bulunduğu bölgeyi, f özelliği, p eşitsizliğin yönünü, θ ise eşik değerini temsil etmektedir.

2.1.4 Ardışıl Sınıflandırıcı

Doğru olarak saptanan pozitif kısımları negatif kısımlardan ayırıştırma amacıyla kullanılmaktadır. Farklı boyut ve hassasiyete sahip sınıflandırıcı algoritmalarından oluşan ardışıl sınıflandırıcıda, yapısal özelliği elde edilen görüntüye alınmak istenmeyen kısımlar doğrudan bu kısımda elenir ve böylece sadece dâhil olması istenen bölge çıkışa aktarılmış olur [33].

Çalışma kapsamında elde edilen algoritmanın sadece kalibrasyon kısmında kullanılan ardışıl sınıflandırıcı, kameradan gelen görüntünün VJ algoritması kısmının ilk adımında yüz bölgesi, ikinci adımında ise yüz bölgesi içerisinde göz bölgesi tespiti sağlanmaktadır.

2.2. Hough Dönüşümü

Sayısal görüntüleri temsil eden matris kümeleri üzerinde bazı geometrik şekillerin bulunması görüntü işleme çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu bağlamda Hough dönüşümünün geometrik şekilleri bulmadaki başarısı bilinmektedir. Özellikle bu dönüşümün doğrusal ve dairesel geometrik şekilleri başarı ile yakalayabilmektedir. Bilinen belirgin özelliklerinden bir tanesi de bu algoritmanın gürültüden az etkileniyor olmasıdır [34]. Çalışma mantığı olarak oylama mantığına sahip bir dizi algoritmadan oluşmaktadır. Ballard, 1981 yılındaki çalışmasında Hough dönüşümünü ile daireleri belirleyebilmek için genel bir denklem sunmuştur [35]. Önerdiği matematiksel ifade Denklem 3’ de merkez “ $M(a,b)$ ” ve yarıçapı “ r ” olan çember denklemi belirtilmiştir. Bahsi geçen Hough dönüşümünde kullanılan kutupsal koordinat denklemleri Denklem 4’ te verilmiştir.

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \quad (3)$$

$$a = x - r * \cos(t) , b = y - r * \sin(t) \quad (4)$$

Görüntü üzerindeki işlem sıralaması, görüntünün içerisinde kenarların bulunması, belirlenmiş eşik değerine göre görüntünün ikili (0,1) hale getirilmesi ile başlamaktadır. Daha sonra her piksel değeri için, polar koordinat denklemlerinin kullanılması ile oluşma ihtimalleri bulunan dairelerin yarıçaplarının ve merkez noktalarının hesaplanması gerçekleştirilir. Ardından oylama mantığı ile oluşabilecek olan tüm dairelerin oylanır ve aralarında en fazla oy almış olan pikseller Hough Dönüşüm uzayında belirtilir. En fazla oya sahip akümülatörde bulunmak istenen dairenin yarıçapı, merkez noktası ve çizilmesi gerçekleştirilir.

Bu çalışmada göz görüntüsü üzerinde dairesel şekil olan göz bebeği arandığından kullanılan akümülatör matrisi için göz bebeği büyüklükleri yarıçap cinsinden sınırlandırılmıştır.

2.3. Korelasyon

Olasılık ve İstatistikte iki rassal değişkenin aralarındaki doğrusal ilişkinin gücünü ve yönünü Korelasyon belirtmektedir. İstatistiksel kullanımında, bağımsızlık durumundan uzaklaşmanın ne derecede olduğunu ortaya koyar. Korelasyon katsayısı, bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin yönü ve büyüklüğünü belirten katsayıdır. Bu katsayı, (-1) ile (+1) arasında bir değer alır. Pozitif değerler direk yönlü doğrusal ilişkiyi; negatif değerler ise ters yönlü bir doğrusal ilişkiyi belirtir. Korelasyon katsayısı 0 ise söz konusu değişkenler arasında doğrusal bir ilişki yoktur [36]. Denklem 5’ te Korelasyon 2 boyutlu matematiksel ifadesi verilmiştir.

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{(\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2)(\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2)}} \quad (5)$$

Bu denklemde A parametresi webcam’ den gelen yeni görüntüyü ifade ederken, B parametresi ise kalibrasyonda elde edilmiş olan göz bölgesini ifade etmektedir.

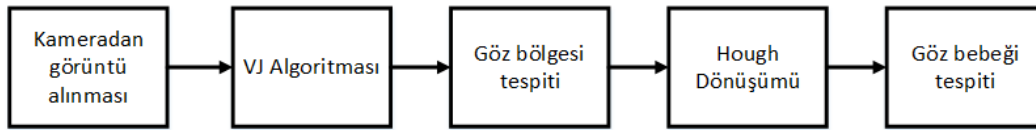
2.4. Kullanılan Materyaller

Bu çalışmada HP Z Book i7 11.Nesil Intel işlemci ve Nvidia RTX 2070 ekran kartına sahip dâhili webcam bulunan dizüstü bilgisayar ve MATLAB 2020B yazılımı kullanılmıştır. Çalışmada görüntüler, ekrana 20-40 cm uzaklıkta ve beyaz sarı ışık kaynakları altında kaydedilmiştir. 7 farklı kişiden toplam 23.997 adet fotoğraf kayıtları alınarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2.5. Çalışmanın Genel Yapısı

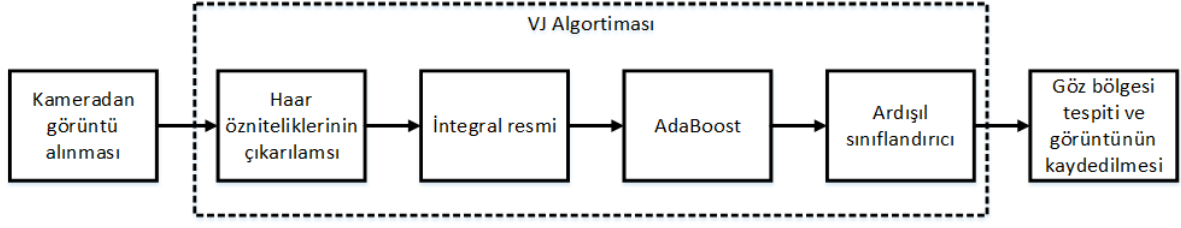
Çalışma kapsamında VJ Algoritması ve geliştirilen hibrit çalışabilen korelasyonlu yapı (VJVK) tasarlanmış ve karşılaştırılmıştır. Yalnız VJ algoritması ile göz bebeği tespiti yapabilen sistemin blok diyagramı Şekil 2’ de gösterilmiştir. Şekil 2’ ye göre ilk girdi kameradan görüntü

alınmasıdır. Alınan görüntü üzerinde ilk olarak yüzün ve göz bölgesinin saptanabilmesi için VJ algoritması kullanılmıştır. VJ algoritmasında, Haar özellikleri vasıtası ile siyah ve beyaz dikdörtgenler oluşturularak içerisinde kalan piksellerin toplamının farkından çıkan sonuca göre çerçevedeki kenarlar veya dokudaki değişiklikler gibi belirli özelliklerin varlığını veya yokluğunu göstermesi sağlanmıştır. Ardından ise integral resmi metodu kullanılarak özellikleri içeren dikdörtgenler hızlı bir şekilde hesaplanmaktadır. Daha sonra Haar özellikleri çıkarıldıktan sonra AdaBoost ile bir görüntü üzerinde kayan pencere ile tarama yapılarak Haar özelliklerinin dağılımına ulaşılır bu sayede farklı zayıf özelliklerin lineer toplanmasıyla güçlü bir sınıflandırıcı elde edilmiş olur. Bir sonraki adımda doğru pozitif örnekleri negatif örneklerden elimine etmek için Basamaklı Sınıflandırıcı kullanılmaktadır. Farklı boyut ve hassasiyetteki sınıflandırıcıları basamaklandırma kabiliyeti sağlar. Ardından belirlenen göz bölgesi çerçeveleri üzerinden, geometrik şekilleri tespit edebilen bir yöntem olan Hough dönüşümü kullanarak yuvarlak göz bebeği belirlemesi yapılmıştır. Bulunan göz bebeği yuvarlağının boyutu ile göz bölgesinin çerçevesi karşılaştırılarak, eğer belirlenen sınırları aşıyorsa göz bebeği değil olarak değerlendirilmiştir. Belirlenen sınırlar içerisinde ise bulunan yuvarlak gözbebeğidir kararı verilip koordinatları kaydedilmiş ve çizdirilmiştir.



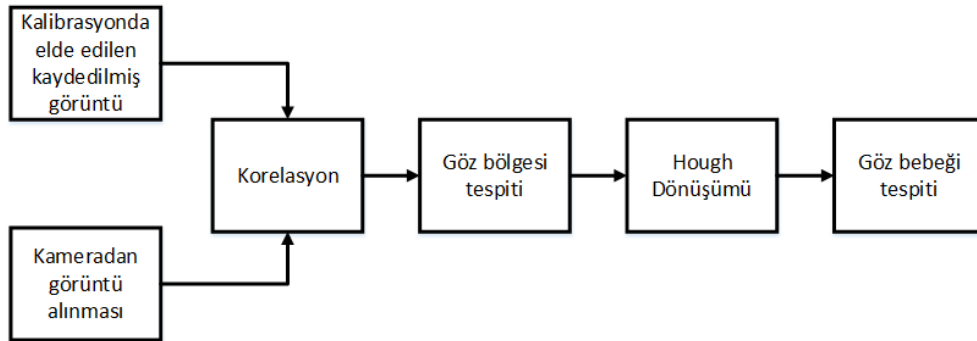
Şekil 2. VJ Algoritması kullanılarak göz bebeği tespiti blok diyagramı.

Hibrit geliştirilen sistemde Şekil 2’ deki VJ algoritması ile göz bebeği bulma tespitinde her çalıştırmada tekrardan 2. bloktaki VJ algoritması işlemlerinin sebep olacağı gecikmeyi ortadan kaldırabilmesi ve çalışmanın hızlandırılması hedeflenmiştir. VJVK yönteminin işleyiş gösterebilmesi için Korelasyonda girdi olarak kullanılmak üzere kalibrasyon görüntüsünün elde edilmesi Şekil 3’ te gösterilmiştir. Şekil 3’ te kamera görüntülerinin Haar özelliklerinin çıkarılması sonrası, integral resmi, Adaboost algoritması ve ardışıl sınıflandırıcıdan sırasıyla geçirildikten sonra bulunan göz bölgesinin kaydedilmesi adımları görülmektedir.



Şekil 3. Kalibrasyon.

Şekil 4’ te blok diyagramı görülen hibrit olarak geliştirilen VJVK sisteminde ise ilk etapta Kalibrasyon sonucu kaydedilen göz bölgesi görüntüsü ile kameradan yeni alınmış bir görüntü Korelasyona tabi tutulmuştur ve en yüksek katsayının bulunduğu piksel alanında göz bölgesi tespiti yapılmaktadır. Gelen görüntü üzerindeki yeni göz bölgesinin tespitinden sonra Hough dönüşümü kullanımı sonrası göz bebeğinin tespiti sağlanmıştır. Bu geliştirilen VJVK yönteminin VJ’ dan farkı VJ kullanarak elde ettiği yüz ve göz bölgesi matrislerini bir kere kaydetmesidir, dolayısı ile tekrarlı olarak VJ algoritması döndürülmemektedir. Bu sayede her seferinde VJ algoritması zahmetinden kurtulmuş, doğru ve hızlı işleyen bir algoritma ortaya çıkarmak hedeflenmiştir.



Şekil 4. VJVK algoritması kullanılarak göz bebeği tespiti blok diyagramı.

VJ algoritması ve VJVK yöntemi kullanılarak ilgili çalışma gerçekleştirilmiştir. VJ ve VJVK yöntemi kullanıcının 20 cm ve 40 cm uzaklık, beyaz ve sarı aydınlatmanın olduğu deney ortamı oluşturularak 4 farklı koşul altında karşılaştırılmış ve web kamerası üzerinde avantajları ve dezavantajları incelenmiştir.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, 20 cm uzaklıkta beyaz ışık altında, 20 cm uzaklıkta sarı ışık altında, 40 cm uzaklıkta beyaz ışık altında, 40 cm uzaklıkta sarı ışık altında değerlendirmeler yapılarak

Cumali KARA, Gürkan BİLGİN, Süleyman BİLGİN, “Gerçek Zamanlı Göz Bebeği Takip sistemi için Hibrit Algoritma Geliştirilmesi”, Yekarum e-Dergi, 8/2 (2023) 114-130

çalışmanın doğruluğu ve sağlamlığı test edilmiştir. Testler, algılanan göz bölgesi ve göz bebeği yakalama doğruluk oranları ile karşılaştırılmıştır.

Bu kapsamda, webcam üzerine gelen ilk görüntülerden bir tanesi Şekil 5’ te gösterilmektedir. Bu renkli görüntü her iki algoritmada da sonuca yönelik karşılaştırmalar yapmak için ilk girdi olarak algoritmalara verilmektedir.



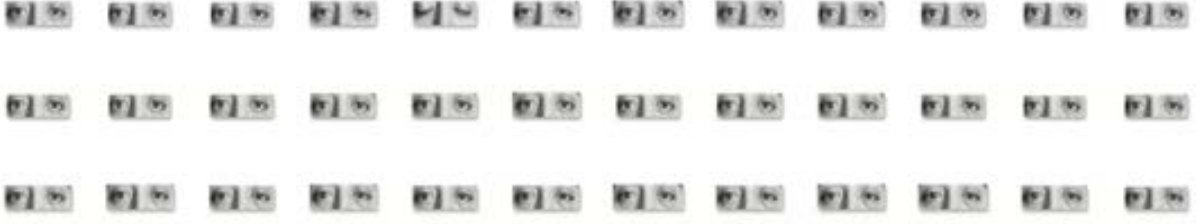
Şekil 5. Webcam’ den gelen ilk görüntü.

İlk etapta, webcam üzerinden gelen bu görüntü VJ algoritmasına uygulandıktan sonra elde edilen yüz tanıma görüntü örnekleri Şekil 6’ da gösterilmiştir. Buna göre kameradan gelen ilk görüntü sonrası yüz tanıma yapılmaktadır.



Şekil 6. Kameradan gelen ilk görüntülerin VJ yüz tanıma sonrası örnekleri (VJVK algoritması içinde kalibrasyonda da bir kez bulduruluyor).

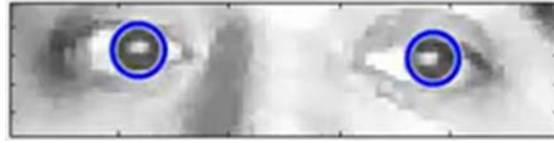
Daha sonra yüz görüntüsü üzerinden çiftli göz bölgesini elde etmek için VJ algoritması tekrar uygulanmış ve Şekil 7’ deki gibi çift göz bölgeleri tespit edilmiştir.



Şekil 7. Yüz tanıma sonrası tekrar VJ algoritması uygulanarak bulunan göz bölgesi örnekleri.

Şekil 7' ye kadar yapılan işlem basamakları, VJVK içerisinde sadece kalibrasyon kısmında bir kez kullanılmakta ve göz bölgeleri kaydedilmektedir. VJVK için bundan sonraki işlemlerde kaydedilen göz bölgesi görüntüsü Korelasyon için kullanılmakta ve VJVK çıkışında yeni bir göz bölgesi görüntüsü tespit edilmektedir. Böylelikle sistem hız kazanmaktadır.

Son olarak her iki algoritma (VJ ve VJVK) sonrasında Hough Dönüşümü kullanılarak göz bebeği tespiti yuvarlak geometrik şekillerin yakalanması ile belirlenmektedir. Şekil 8' de kalibrasyon sonrasında elde edilmiş görüntüye Hough Dönüşümü uygulanması sonrası elde edilen görüntü verilmiştir.



Şekil 8. Kalibrasyon sonrası elde edilmiş görüntü üzerine Hough Dönüşümü uygulanması.

Tablo 1' de belirtildiği üzere göz bölgesi üzerinde farklı ışık kaynaklarında ve kameraya farklı uzaklıklarda gerçekleştirilen çalışmanın VJ ve VJVK algoritmalarının başarı karşılaştırmalarını göstermektedir. Tablo incelendiğinde, beyaz ışık altındaki VJ algoritması başarısı sarı ışıktakine göre düşük kalmaktadır. Diğer taraftan VJVK algoritması ise beyaz ışık altında daha başarılı sonuçlar göstermektedir. Bununla beraber kameraya olan uzaklık arttıkça, beyaz ışıkta algoritma başarıları düşerken, sarı ışıkta uzaklık arttıkça başarının arttığı gözlemlenmektedir. Nihai sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, VJVK algoritmasının VJ algoritmasına göre başarısı ön plana çıkmaktadır. En başarılı sonuç, sarı ışık altında 40 cm uzaklıkta VJVK algoritması ile gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, uzaklık ve ışık rengi bakımından, en iyi ortamın sarı ışık altında, 40 cm uzaklıktan tespiti en uygun çalışma ortamı olacaktır.

Tablo 1. VJ ve VJVK algoritmalarının farklı ışık renklerinde 20 cm ve 40 cm mesafedeki göz bölgesi tespit doğruluklarının karşılaştırılması

Işık Rengi	Algoritma	Mesafe		Ortalama (%)
		20 cm (%)	40 cm (%)	
Beyaz	VJ	97,21	96,57	96,89
	VJVK	99,87	99,61	99,74
Sarı	VJ	96,24	99,44	97,84
	VJVK	98,56	99,92	99,24
Genel Ortalama	VJ	96,72	98,00	97,36
	VJVK	99,21	99,76	99,48

Tablo 1 göz bölgesi performanslarını ortaya koyarken, Tablo 2 de ise göz bebeği tespit performans değerleri gösterilmektedir. Çalışmada da bahsedildiği üzere, göz bebeği tespiti her iki algoritma sonuna eklenen Hough Dönüşümü ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 2’ ye göre VJ algoritması % 85,17 doğruluk başarısı gösterirken VJVK algoritması 88,74 doğruluk oranı ile VJ algoritmasından daha başarılı sonuçlar göstermiştir.

Tablo 2. VJ ve VJVK algoritmalarının Hough dönüşümü sonrasında göz bebeği tespit doğruluklarının karşılaştırılması

Algoritma	Genel Ortalama (%)
VJ	85,17
VJVK	88,74

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bilgisayar üzerindeki webcam görüntüleri üzerinden gerçekleştirilen çalışmada, elde edilen sonuçlar iki algoritma için de sağlanan eşit koşullar altında değerlendirilmiştir. VJ algoritması ile VJVK algoritmasının performansları çalışma kapsamında not edilmiştir.

Genellikle göz takip sistemlerinde, manyetik lens, akıllı gözlükler ve kızılötesi sistemler gibi ek donanımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı elde edilen sistemler kullanıcılar için ek bir maliyet oluşturmaktadır. Özellikle diğerlerine nazaran fazla talep görenlerden biri olan kızılötesi tabanlı sistemlerin renkli kameralı sistemlere göre doğruluk, hassasiyet ve gürültüden az etkilenme gibi avantajları mevcut olsa da kızılötesi ışık kaynağı ve algılayıcısına ihtiyaç duyması maliyet açısından dezavantaj yaratmaktadır. Bu durumdan hareketle, çalışma kapsamında, ek bir donanıma ve maliyete ihtiyaç duyulmadan, hareket kabiliyeti kısıtlı hastaların etkileşimi için webcam tabanlı kameralar üzerinde çalışabilecek algoritma geliştirilmiştir.

VJ, bir pencere içerisinde yer alan piksel bloklarının birbiri ile olan ilişkisini öğrenme prensibi üzerine kurulmuş bir gerçek zamanlı göz ve yüz takip algoritmasıdır. Göz bölgesinin

Cumali KARA, Gürkan BİLGİN, Süleyman BİLGİN, "Gerçek Zamanlı Göz Bebeği Takip sistemi için Hibrit Algoritma Geliştirilmesi", Yekarum e-Dergi, 8/2 (2023) 114-130

tespiti için, göz bölgesinin yapısal özelliklerini en fazla barındıran pencereleri tespit ederek çıktı üretmektedir. Çalışma kapsamında VJ tabanlı hibrit olarak geliştirilen VJVK algoritması ise, ilk başta yüz ve göz bölgesinin verilerini kullanıcının onayıyla veri tabanına kaydetmekte ve ardından gelen her yeni görüntüde kayıtlı olan veriler ile korelasyonuna bakmaktadır. VJVK'nın bu konuda VJ'ye göre avantajı kullanıcıdan onay aldığı yüz ve göz bölgesinin doğruluk teyidi ve kullanıcı bazlı güncel veri kullanması olmuştur.

Diğer taraftan çalışma literatürdeki diğer çalışmaların sonuçları ile kıyaslama yapıldığında gerek algoritma hızı gerekse doğruluk oranları bakımından ön plana çıkmaktadır. Devi ve ark. yaptıkları araştırmada Ten Rengi Algoritması ve Dairesel Hough Dönüşümü kullanarak göz tespiti yapmış ve %80 doğruluk başarısı elde etmiştir. Sacco and Farrugia VJ ve DVM yöntemleri ile yaptıkları analizlerde göz tespitinde %91 doğruluk oranını yakalamış, Dasgupta ve ark. göz tespiti için Kalman Filtresi, Temel Bileşen Analizi (TBA), Bölgesel İkili (Bİ) ve DVM analizleri yaparak %94 doğruluğu yakalamıştır. Fatime ve ark VJ, PCA, DVM ve AdaBoost yöntemleri ile %96,2 başarıya ulaşmıştır, benzer olarak Flores ve ark. yine VJ, Yoğunlaştırma Algoritması (YA), Yapay Sinir Ağları (YSA), DVM tekniklerini kullanarak %96 doğruluk başarısına ulaşmıştır. %99 ve %99,41 ile yüksek doğruluk başarı oranlarına ulaşılmıştır, Jo ve ark. %99 doğruluğa DVM, TBA, Lineer Diskriminant Analizi (LDA) teknikleri ile ulaşmıştır. Jiménez-Pinto ve Torres-Torriti ise göz tespiti için %99,41 başarı oranını yakalamıştır. Bu çalışmada önerilen VJVK algoritması ise en yüksek doğruluk başarı oranı %99,92 olarak elde edilmiştir.

Gerek doğruluk oranları ve gerekse sistem çalışma hızı yönünden bu çalışma literatüre önemli katkı yapacak niteliktedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Çalışma, araştırma ve yayın etiğine uygundur.

KAYNAKLAR

- [1] S. Metlek and H. Çetiner, "ResUNet+: A New Convolutional and Attention Block-Based Approach for Brain Tumor Segmentation." *IEEE Access*, 2023.

- [2] S. Metlek, "Forecasting of Dow Jones Sukuk Index Prices Using Artificial Intelligence Systems." *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, vol. pp.1, 2022.
- [3] O. Oral and G. Bilgin, "The Automatic Detection of Tomatoes Leaf Diseases." *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 30, pp. 4, 2021.
- [4] E. Çetin, S. Bilgin and G. Bilgin, "A novel wearable ERP-based BCI approach to explicate hunger necessity." *Neuroscience Letters*, 137573, 2023.
- [5] A. A. Elngar, M. Arafa, A. Fathy, B. Moustafa, O. Mahmoud, M. Shaban and N. Fawzy, "Image classification based on CNN: a survey," *Journal of Cybersecurity and Information Management*, vol. 6.1, pp. 18-50, April 2021.
- [6] A. Borji and I. Laurent, "State-of-the-art in visual attention modeling," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 35.1, pp. 185-207, 2012.
- [7] P. Smith, S. Mubarak and N. V. Lobo. "Determining driver visual attention with one camera," *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, vol. 4.4, pp. 205-218, 2003.
- [8] A. Doshi and M. M. Trivedi, "On the roles of eye gaze and head dynamics in predicting driver's intent to change lanes," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 10.3, pp. 453-462, 2009.
- [9] H. Wang, C. Xue and Q. Liu. "The eye movement experiment and the usability evaluation of the fighter cockpit digital interface." in *2nd Int. Conf. on Information Engineering and Computer Science*. IEEE, 2010, pp.1-4.
- [10] G. J. Siegle, S. R. Steinhauer, and M. E. Thase. "Pupillary assessment and computational modeling of the Stroop task in depression." *International Journal of Psychophysiology*, vol. 52.1, pp. 63-76, 2004.
- [11] V. Mylius, H. J. Braune and K. Schepelmann. "Dysfunction of the pupillary light reflex following migraine headache," *Clinical Autonomic Research* vol. 13, pp. 16-21, 2003.
- [12] C. S. Hwang, H. H. Weng, L. F. Wang, C. H. Tsai and H. T. Chang, "An eye-tracking assistive device improves the quality of life for ALS patients and reduces the caregivers' burden," *Journal of motor behavior*, vol. 46.4, pp. 233-238, 2014.
- [13] P. S. Holzman, R. P. Leonard and L. L. Deborah, et al., "Eye-tracking dysfunctions in schizophrenic patients and their relatives," *Archives of general psychiatry* vol. 31.2, pp. 143-151, 1974.

Cumali KARA, Gürkan BİLGİN, Süleyman BİLGİN, "Gerçek Zamanlı Göz Bebeği Takip sistemi için Hibrit Algoritma Geliştirilmesi", *Yekarum e-Dergi*, 8/2 (2023) 114-130

- [14] A. Kaya, A. B. Can and H. B. Çakmak, "Designing a pattern stabilization method using scleral blood vessels for laser eye surgery." *2010 20th Int. Conf. on Pattern Recognition*. IEEE, 2010, pp. 698-701.
- [15] T. Brandt, *Augenbewegungsstörungen: Klinik und Elektronystagmographie; 23 Tabellen*. Fischer, 1983.
- [16] Y. Durna and A. Fikret, "Design of a binocular pupil and gaze point detection system utilizing high definition images." *Applied Sciences* vol. 7.5, pp. 498, 2017.
- [17] D. W. Hansen, and R. I. Hammoud, "An improved likelihood model for eye tracking," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 106, pp. 2-3, 2007.
- [18] J. C. Mateo, J. San Agustin and J. P. Hansen, "Gaze beats mouse: hands-free selection by combining gaze and emg." *CHI'08 extended abstracts on Human factors in computing systems*. pp. 3039-3044, 2008.
- [19] T. N. Bhaskar, F. T. Keat, S. Ranganath and Y. V. Venkatesh, "Blink detection and eye tracking for eye localization." *TENCON 2003. Conf. on Convergent Technologies for Asia-Pacific Region*. vol. 2, 2003.
- [20] B. Fatima, A. R. Shaid, S. Ziauddin, A. A. Safi and H. Ramzan, "Driver fatigue detection using viola jones and principal component analysis," *Applied Artificial Intelligence*, vol. 34.6, pp. 456-483, 2020.
- [21] M. Everingham and A. Zisserman. "Regression and classification approaches to eye localization in face images." *7th Int. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition (FGR06)*. IEEE, 2006.
- [22] P. Viola and M. J. Jones. "Robust real-time face detection." *International journal of computer vision*, vol. 57, pp. 137-154, 2004.
- [23] Y. Hua, J. Ni and H. Lu, "An eye-tracking technology and MLP-based color matching design method." *Scientific Reports*, vol. 13.1, pp. 1294, 2023.
- [24] D. B. Arslan, M. Sükuti and A. D. Duru, "The Identification of Individualized Eye Tracking Metrics in VR Using Data Driven Iterative-Adaptive Algorithm." *AJIT-e: Academic Journal of Information Technology*, vol. 14.52, pp. 8-21, 2023.
- [25] S. H. Z. Bagherzadeh and S. Toosizadeh, "Eye tracking algorithm based on multi model Kalman filter." *HighTech and Innovation Journal*, vol. 3.1, pp.15-27, 2022.
- [26] M. R. Kanhirakadavath and M. S. M. Chandran. "Investigation of eye-tracking scan path as a biomarker for autism screening using machine learning algorithms" *Diagnostics*, vol. 12.2, pp. 518, 2022.

Cumali KARA, Gürkan BİLGİN, Süleyman BİLGİN, "Gerçek Zamanlı Göz Bebeği Takip sistemi için Hibrit Algoritma Geliştirilmesi", *Yekarum e-Dergi*, 8/2 (2023) 114-130

- [27] Z. M. Fadhel and Q. M. Hussein, "Detecting autism spectrum disorder in children using eye tracking and machine learning." *2022 Int. Cong. on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, IEEE, 2022, pp.1-3.
- [28] H. H. Tesfamikael, A. Fray, I. Mengsteab, A. Semere and Z. Amanuel, "Simulation of eye tracking control based electric wheelchair construction by image segmentation algorithm." *Journal of Innovative Image Processing (JIIP)*, vol. 3.01, pp. 21-35, 2021.
- [29] F. N. Ibrahim, Z. M. Zin and N. Ibrahim, "Eye Feature Extraction with Calibration Model using Viola-Jones and Neural Network Algorithms." *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, vol. 4.6, pp. 208-215, 2019.
- [30] G. Ananthi, M. Pujaa and V. M. Amretha. "Eye gaze capture for preference tracking." *Multimedia Tools and Applications*, vol. 1, pp. 12, 2023.
- [31] M. Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple," *Proceedings of the IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, Kauai, HI, USA*. IEEE, 2001, pp 8-14.
- [32] A. Gupta and R. Tiwari. "Face detection using modified Viola jones algorithm." *International Journal of Recent Research in Mathematics Computer Science and Information Technology* vol. 1.2, pp. 59-66, 2015.
- [33] R. Lienhart and J. Maydt, "An extended set of haar-like features for rapid object detection." *Proceedings. international conference on image processing*. Vol. 1. IEEE, 2002.
- [34] A. Çelik and E. Tekin, "Hough transform görüntü işleme yöntemiyle ekim makineleri için tohum sayma uygulaması," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi (2020)*, pp. 260-267, 2020.
- [35] D. H. Ballard, "Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes," *Pattern recognition*, vol. 13.2, pp. 111-122, 1981.
- [36] A. Çubukçu, M. Kuncan and M. İmren, et al, "Görüntü işleme ile 3 eksenli robot mekanizması üzerinde nesne ayırt edilmesi ve sıralanması," 2015.