

JSAT

JOURNAL OF STUDIES IN ADVANCED TECHNOLOGIES

İLERİ TEKNOLOJİLERDE
ÇALIŞMALAR DERGİSİ



Volume | Cilt: 1

Issue | Sayı: 1

June | Haziran 2023

Journal of Studies in Advanced Technologies

[İleri Teknolojilerde Çalışmalar Dergisi]

JSAT

Volume / Cilt	Issue / Sayı	June / Haziran
1	1	2023

Owner / Sahibi

Prof. Dr. Mehmet Biber
Rector (Rektör), Ardahan University, Türkiye

Editor in-Chief / Baş Editör

Dr. Öğr. Üyesi Arif Cem Topuz, Ardahan University, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Akif Göktuğ Bozkurt, Ardahan University, Türkiye

Publication Board / Dergi Kurulu

Prof. Dr. Alper Nuhoglu, Ataturk University, Türkiye
Prof. Dr. Okan Eştürk, Ardahan University, Türkiye
Prof. Dr. Mahmut Fırat, İnönü University, Türkiye
Doç. Dr. Ahmet Akköse, Ataturk University, Türkiye
Doç. Dr. Rövsen Guliyev, Ardahan University, Türkiye
Doç. Dr. Ali Yeşildağ, Kafkas University, Türkiye
Doç. Dr. Fatih Ongül, Ardahan University, Türkiye
Doç. Dr. Ali Baltakesmez, Ardahan University, Türkiye
Doç. Dr. Asif Yokuş, Fırat University, Türkiye

Editorial Board / Yayın ve Danışma Kurulu

Prof. Dr. Mahmud Güngör, Civil Engineering- Pamukkale University, Türkiye
Prof. Dr. Yalçın Bozkurt, Animal Science- Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
Prof. Dr. Yaşar Nuhoglu, Environmental Engineering, Yıldız Technical University, Türkiye
Prof. Dr. Ümmihan Danış, Environmental Engineering- 19 Mayıs University, Türkiye
Doç. Dr. Abdullah Ateş, Electric-Electronic Engineering- İnönü University, Türkiye
Doç. Dr. Hasan Ufuk Çelebioğlu, Molecular Biology and Genetic, Bartın University, Türkiye

Doç. Dr. Ali Rıza Deniz, *Physics, Hakkari University, Türkiye*
Doç. Dr. Serbay Duran, *Mathematics, Adıyaman University, Türkiye*
Doç. Dr. Hülya Durur, *Mathematics, Ardahan University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Burcu Atalay, *Food Engineering, Iğdır University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Bilge Ertekin Filiz, *Food Engineering, Süleyman Demirel University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Ezgi Demir Özer, *Food Engineering, Kapadokya University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Gülsen Kılınç, *Mathematics, Adıyaman University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Murat Ceylan, *Food Engineering, Iğdır University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Semahat Doruk, *Chemical Engineering, Çankırı Karatekin University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Sevda Ocak, *Environmental Engineering, Giresun University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Sevgin Dıblan, *Food Engineering, Tarsus University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Ümit Yaşar, *Medical Biochemistry, Ardahan University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Zehra Gül Yaşar, *Physiology, Ardahan University, Türkiye*
Dr. Lütfi Bilal Taşyürek, *Physics, Malatya Turgut Özal University, Türkiye*
Dr. Didem Rodoplu Solovchuk, *Nanotechnology, National Health Research Institutes, Taiwan*

Language Editor / Yazım ve Dil Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Niyazi İpek, *Ardahan University, Türkiye*

Technical Coordinator / Teknik Koordinatör

Sinan Üst, *Ardahan University, Türkiye*

Technical Assistant / Teknik Sorumlu

Mertcan Aygün, *Ardahan University, Türkiye*

Journal of Studies in Advanced Technologies (JSAT) is an international, peer-reviewed journal, published biannually (June and December). Publication languages are Turkish and English. JSAT is an open access and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

İleri Teknolojilerde Çalışmalar Dergisi (JSAT) uluslararası, hakemli bir dergidir ve yılda iki sefer Haziran ve Aralık aylarında yayımlanmaktadır. Yayın dili Türkçe ve İngilizcedir. JSAT makaleleri açık erişimlidir ve Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.



<https://jsat.ardahan.edu.tr>
jsat@ardahan.edu.tr



CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Author(s) /Yazar(lar)	Title /Başlık	Page/Sayfa
Erdi Çakmak Hasan Hüseyin Çoban	(Research article/Araştırma makalesi) Meeting Electric Scooter and Home Energy Demand with Renewable Energy Source <i>Elektrikli Scooter ve Bir Evin Enerji İhtiyacının Yenilenebilir Enerji Kaynağıyla Karşılanması</i>	1-10
Hulya Durur Aleyna Aydin Reyhan Arslanturk	(Research article/Araştırma makalesi) Investigation of Hyperbolic Type Solutions of the Fitzhugh-Nagumo Model in Neuroscience <i>Sinirbilimde Fitzhugh-Nagumo Modelinin Hiperbolik Tip Çözümlerinin İncelenmesi</i>	11-16
Nihat Zaman Nursena Baygın	(Research article/Araştırma makalesi) Digital Assurance and Traceability of NFT-based Certificates <i>NFT Tabanlı Sertifikaların Dijital Güvencesi ve İzlenebilirliği</i>	17-25
Hakan Köksal Mehmet Baygın	(Research article/Araştırma makalesi) Machine Learning-Based Automatic Emotion Classification Using EEG Signals <i>EEG Sinyalleri Kullanılarak Makine Öğrenmesi Tabanlı Otomatik Duygu Sınıflandırma</i>	26-40
Mustafa Akgün	(Research article/Araştırma makalesi) A Study on Monitoring of Chlorophyll-a Level by Remote Sensing <i>Uzaktan Algılama ile Klorofil-a İzlenmesi Üzerine Bir Çalışma</i>	41-47



Research Article

Meeting Electric Scooter and Home Energy Demand with Renewable Energy Source

Erdi Çakmak¹ , Hasan Hüseyin Çoban² *

¹ Department of Advanced Technologies, Ardahan University, 75002 Ardahan, Türkiye

² Department of Electric and Electronic Engineering, Ardahan University, 75002 Ardahan, Türkiye

* Correspondence: huseyincoban@ardahan.edu.tr

Received: 23 March 2023; Accepted: 22 April 2023; Published: 30 June 2023

Abstract: Microgrid systems are vital for establishing the smart grids of the future, therefore it is important to focus on the intermittency and availability of energy storage systems. In the near future, as the number of electric scooters will increase significantly, the integration of renewable energy sources and integrated electromobility with appropriate user demand-side management can contribute to microgrid stability and reduce grid dependency. Solar energy generation, which is the most important of the renewable energy sources, draws attention due to its decreasing costs. In this study, the average energy consumption of a house was evaluated using solar panels with and without a grid connection. PVSOL programming tool was used in the design. The average daily energy consumption of a house was determined and solar irradiation data were obtained from a solar power plant in Ardahan on a monthly basis for a year. As a result of the study, the energy demand of the house was met by the PV (photovoltaics) panels. In addition, load management was provided independent of the grid with a battery system, and as a result of the simulation, it was determined that critical loads in load-controlled systems had a lifespan up to 3 times longer than in uncontrolled systems. Contributions to the renewable energy sector, especially the photovoltaic sector, will reduce our dependence on foreign energy.

Keywords: renewable energy, solar PV systems, electric scooter, demand side management, battery

Araştırma Makalesi

Elektrikli Scooter ve Bir Evin Enerji İhtiyacının Yenilenebilir Enerji Kaynağıyla Karşlanması

Öz: Mikro şebeke sistemleri, geleceğin akıllı şebekelerini kurmak için hayati önem taşımaktadır, bu nedenle enerji depolama sistemlerinin kesintili ve kullanılabilirliği üzerinde önemli bir odak noktası olacaktır. Yakın gelecekte, elektrikli scooter sayısı önemli ölçüde artacağından, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve uygun kullanıcı talep tarafı yönetimi ile entegre elektromobilitenin entegrasyonu, mikro şebeke istikrarına katkıda bulunabilir ve şebekeye bağımlılığı azaltabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlisi olan güneş enerjisi üretimi günümüzde ucuz olmasa da azalan maliyetleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Bu çalışmada bir evin ortalama enerji sarfıyatı şebeke bağlantılı ve bağlantısız olarak güneş panelleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Tasarımda PVSOL programı kullanılmıştır. Bir evin günlük bazda ortalama enerji sarfıyatı belirlenmiş ve güneş verileri ise Ardahan ilindeki işletmedeki bir güneş enerji santralinden aylık bazda bir yıllık olarak alınmıştır. Bu çalışmada tamamen gerçek veriler kullanılmıştır. Çalışma sonucu olarak evin enerji ihtiyacı PV paneli tarafından karşılanmıştır. Ayrıca bir akü sistemi ile şebekeden bağımsız olarak yük yönetimi sağlanmış ve simülasyon sonucunda yük kontrollü sistemlerde kritik yüklerin kontrolsüz sistemlere göre 3 kata kadar daha uzun ömürlü olduğu tespit edilmiştir. Fotovoltaik sektörü başta olmak üzere yenilenebilir enerji sektörüne sağlanacak katkılar, enerji konusunda dışa olan bağımlılığımızı da azaltacaktır.

Anahtar Kelimeler: yenilenebilir enerji, solar PV sistemleri, elektrikli scooter, talep tarafı yönetimi

Citation: E. Çakmak and H. H. Çoban, "Meeting Electric Scooter and Home Energy Demand with Renewable Energy Source", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 1, no. 1, pp. 1-10, Jun 2023, doi: 10.5281/zenodo.8074770

1. Giriş

Nüfus artışı ve endüstriyel gelişme çevreyi ciddi şekilde etkilemektedir çünkü geleneksel enerji üretim süreçleri çevreyi kirletmektedir ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. Enerji talebindeki artış, ana enerji kaynağı olan fosil yakıtların hızla tükenmesi ve küresel çevre sorunu olan iklim değişikliği nedeniyle sürdürülebilir ve temiz bir enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerjiye olan talebini her geçen gün artırmaktadır. İklim nedenlerinden dolayı kesinti olmadan enerji elde etmenin bir yolu, akıllı bir yük yönetim sistemi oluşturmaktır [1]. Günümüzde enerji talebindeki artış, fosil kaynakların hızla tükenmesi, iklim değişikliği ve dışa bağımlılığı azaltma isteği gibi nedenlerle ülkeler enerjiyi daha verimli kullanabilecek çözümler aramaya başlamışlardır [2]. Önümüzdeki yıllarda enerji açığına en uygun çözüm yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiştir. Yenilenebilir enerji, büyüyen sera gazı emisyonu sorunuyla başa çıkmak için en umut verici çözümdür ve aynı zamanda çevrenin korunmasına da yardımcı olmaktadır. Yenilenebilir enerji, birçok ülke tarafından yeni nesil teknoloji üretmek için kullanılmaktadır [3]. Hidroelektrik, güneş, biyokütle ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerjilerin kullanımı ülkelere göre değişmektedir [4]. Yenilenebilir enerjinin mevcut şebekelere entegrasyonu, şebeke içi kesintiler, voltaj dalgalanmaları ve enerji kayıplarını içeren önemli sorunlar oluşturmaktadır [5]. Akıllı şebeke bu sorunları çözmek için oluşturulmuştur [6]. Yenilenebilir enerjinin olumlu yönleri de enerji ihtiyacını karşılayabilmesi ve sürekliliğini sağlayabilmesidir. Güneş enerjisi sistemleri için gece/gündüz koşulları ve oldukça değişken iklim parametreleri, rüzgâr enerjisi üretiminde ise bulutluluk ve değişken rüzgâr hızı, kesintili güneş ve rüzgâr enerjisine neden olur. Bu sorunları çözmek ve enerji kullanımını en aza indirmek için enerjinin üretimden tüketime kadar izlenmesi ve yönetilmesi, kontrol altında tutulması ve enerji yönetim algoritmalarına göre hareket edilmesi önemlidir [7]. Bu çalışmada şebekeden bağımsız ve şebekeye bağımlı ortalama bir evin güneş paneli kullanarak elektrik ihtiyacı karşılanması araştırılmıştır. Bulunan değerler sonuç ve bulgular kısmında paylaşılmıştır.

Elektrik enerjisi talebi son yıllarda tüm dünyada önemli ölçüde artmıştır [8]. Bu muazzam enerji talebini karşılamak için ağırlıklı olarak fosil yakıtlara dayalı konvansiyonel enerji kaynaklarının yanı sıra rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynakları da kullanılmalıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegre edilmesinden ve artan güç talebinden kaynaklanan zorluklar, geleneksel güç sistemi mimarisi ve altyapısının yeniden tasarlanmasıyla aşılabilir. Bu güç sisteminin özellikleri mevcut sistemlere göre daha çevreci, güvenilir ve akıllı olmalıdır. Bu yeni nesil güç sistemini tanımlamak için kullanılan en iyi bilinen terim akıllı şebekedir.

Bu çalışmada, elektrikli scootera sahip bir ev için bir güneş enerji yönetimi önerilmiştir. Önerilen sistemde, şebeke açık/kapalı durumu, çok oranlı elektrik tarifeleri ve pillerin şarj durumunu içeren önceden tanımlanmış kriterler kullanılır. Geliştirilen ev enerji yönetim sistemi, RES'li (Yenilenebilir Enerji Kaynağı) veya RES'siz tüm akıllı ev platformlarında kullanılabilir.

Elektrikli scooter ve ev enerjisi talebini yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılamak, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve sürdürülebilir enerji uygulamalarını teşvik etmek için kusursuz bir yoldur. Bunu başarmanın bazı yolları şunlardır:

1. Güneş Enerjisi: Evler ve elektrikli scooterlar için elektrik üretmek üzere çatılara güneş panelleri kurulabilir. Bu, enerjiyi pillerde depolayan şebekeye bağlı güneş sistemleri veya şebekeden bağımsız güneş sistemleri aracılığıyla elde edilebilir.

2. Rüzgâr Enerjisi: Rüzgâr türbinleri, evler ve elektrikli scooterlar için elektrik üretmek üzere sürekli rüzgâr alan alanlara kurulabilir. Bu, evler için küçük ölçekli rüzgâr türbinleri ve scooter şarj istasyonları için daha büyük ölçekli türbinler aracılığıyla elde edilebilir.

3. Jeotermal Enerji: Jeotermal sistemler, dünyanın doğal ısını kullanarak evleri ısıtmak ve soğutmak için kullanılabilir. Bu, yenilenemeyen kaynaklardan elektrik talebini azaltabilir ve daha sürdürülebilir enerji kullanımına izin verebilir.

4. Hidroelektrik Güç: Hidroelektrik güç, evler ve scooter şarj istasyonları için küçük ölçekli hidro türbinler aracılığıyla üretilebilir. Bu, elektrik üretmek için akan suyun enerjisi kullanılarak elde edilebilir.

5. Enerji Verimliliği: Evlerde ve elektrikli scooterlarda enerji verimli uygulamalar kullanmak elektrik talebini azaltabilir. Bu, enerji tasarruflu cihazlar, LED ampuller kullanılarak ve scooter akü şarj sürelerinin optimize edilmesiyle elde edilebilir.

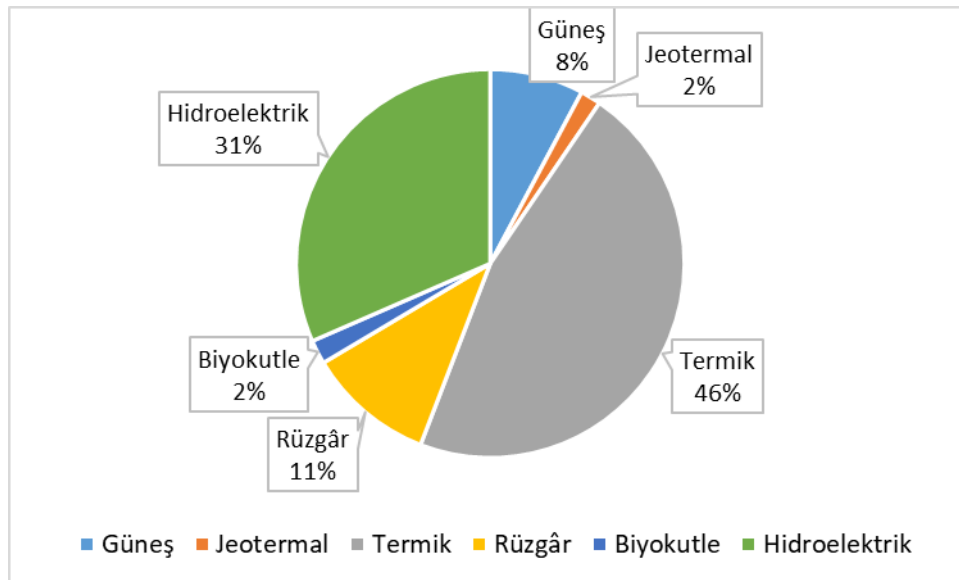
Bu yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji tasarruflu uygulamaları birleştirerek, elektrikli scooterların ve evlerin enerji talebini sürdürülebilir bir şekilde karşılamak mümkündür.

1.1. Türkiye 'de Yenilenebilir Enerji

Konvansiyonel enerji kaynaklarının, enerji tüketimindeki hızlı artış nedeniyle yakın gelecekte tükenebileceği, bilimsel araştırmalarla kanıtlanmıştır. Yenilenebilir enerji ısıtma, ulaşım ve elektrik üretimi gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları; yerli bir kaynak olması, düşük yakıt tüketimi (biokütle için) gerektirmesi, temiz ve çevre dostu özellikleri ile son yıllarda popüler bir enerji kaynağı olmuştur. Bugüne kadar enerji üretiminde ağırlıklı olarak fosil yakıtlar olan kömür, petrol ve doğal gaz kullanılmıştır. Bu kaynakların kullanılması sonucunda dünyanın doğal dengesi bozulmaya ve çevre kirlenmeye başlamıştır. Küresel ısınma ve iklim değişikliği kavramları büyük ölçüde atmosferik değişimler sonucu hayatımıza girmiştir. Bu olumsuz olguları ortadan kaldıracak ve dünyayı daha yaşanabilir hale getirecek tedbirler öncelikle çevreye zarar vermeyen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak olmalıdır. Yaygın olarak kullanılan fosil enerji kaynakları stokları yakında tükenecektir. Bu nedenle enerji ihtiyacının büyük bir kısmını yurt dışından alan Türkiye gibi ülkelerin hem ekonomiye hem de çevrenin korunmasına faydalı olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarını tercih etmeleri zorunludur.[9]–[11]

Yenilenebilir enerjinin çevreye duyarlı bir üretim sistemi olması, teknolojinin gelişmesiyle birlikte daha dar alanlarda daha fazla enerji girdisi elde edilmesi, ekipman verimliliğinin artması, maliyetlerin düşmesi gibi nedenlerle yenilenebilir enerjiye ilgi artmaktadır. Bu bağlamda yenilenebilir kaynaklar, son yıllarda yapılan analizlerde ve akademik çalışmalarda odak noktalardan biri haline gelmiştir. Yenilenebilir kaynaklar özellikle Uluslararası Enerji Ajansı raporlarında [12] önemli bir yer tutmaktadır.

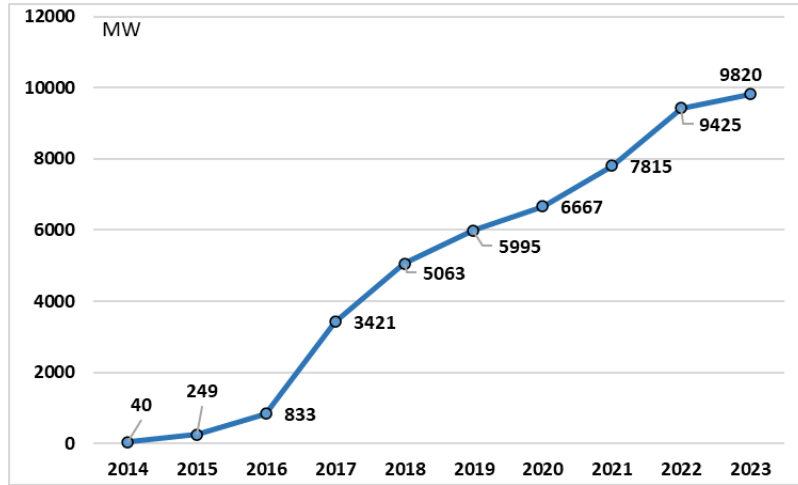
Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2019 ve 2020 raporlarına göre, 2019-2024 yılları arasında küresel enerji kapasitesinin %50 artarak 3.721 GW'a çıkacağı ve bu dönemde kurulu güce 1.200 GW kapasitenin ekleneceği öngörülmektedir. Türkiye'nin 63 GW'lık yenilenebilir enerji kapasitesi ile dünyada 11. sırada yer alacağı düşünülmektedir. Aynı rapora göre Türkiye'nin 2020 yılı sonunda 5,6 GW olan güneş enerjisi kurulu gücünün 2024 yılında iki katına çıkarak 15,1 GW'a çıkması beklenmektedir. Ek 10 GW'lık kapasite artışının 3,7 GW'ı güneş enerjisinde dağıtık enerji sistemlerinden sağlanacaktır. Yine aynı rapora göre yenilenebilir enerji artışı büyük ölçüde güneş ve rüzgar enerjisinden kaynaklanacak ve eklenecek 1200 GW kurulu gücün 530 GW'ı dağıtık sistemlerden elde edilecektir [13]. 2021 yılı ocak ayı sonunda 96.271 MW seviyesine ulaşmış olan Türkiye'nin toplam kurulu gücü, 2021 yılı sonunda 99.820 MW olmuştur. Aralık 2021 yılına ait Türkiye'deki kurulu güç Şekil 1'de gösterilmektedir [14]. Bir sonraki bölümde, kurulacak sistem ve kullanılacak ekipman kısaca özetlenecektir.



Şekil 1. Türkiye kurulu güç dağılımı

Bugün gelişmekte olan ülkelerden biri olan Türkiye'nin enerji arzında dramatik bir değişim yaşanmaktadır. Sanayide ve evlerde elektrik tüketimi ve ulaşımında fosil yakıtlar hala uygun maliyetli görünmektedir. Ancak sınırlılıkları, kötü güç verimleri ve çevremiz üzerindeki kötü etkileri gibi dezavantajlarının giderek daha fazla anlam kazandığı anlaşılmaktadır. Bu nedenlerle günümüzde yenilenebilir enerji kotasının artırılması için birçok çalışma yapılmaktadır. Türkiye'nin güneş enerjisinde 2023 Mart sonu

itibarıyla 10.000MWh'a yaklaşan kapasitesi 78 şehre yayılan santrallerden oluşurken, 35 ilde 100MW'lık kapasitenin üzerinde güneş santrali bulunuyor (bakınız Şekil 2).



Şekil 2. Türkiye'nin güneş enerjisi kurulu gücü

Fotovoltaik enerjinin payı şu anda %9 olsa da gelecekte çok önem kazanacağı beklenmektedir. Bunun başlıca nedenleri şunlardır:

- Yeryüzüne düşen güneş ışınlarının sadece dördte birini kullanarak küresel enerji ihtiyacı karşılanabilecek durumdadır.
- Türkiye'nin ihtiyaç duyduğu enerji için ülkenin yeterli güneş ışınımı vardır.
- Güneş enerjisi sınırsız ve bedelsizdir.
- Fotovoltaik sistemler tarafından çok az sera gazı üretilmektedir.
- PV (Fotovoltaik) sistemleri, en fazla enerjinin gerekli olduğu gün boyunca elektrik enerjisi sağlar.
- Elektrik enerjisi, merkezi olmayan uzak bölge sistemleri için doğrudan ihtiyaç duyulan yerde üretilebilir.

Elektrikli bisikletler ve scooterlar için PV sistemlerinin kullanılması yine de bazı zorluklara sahiptir [15]:

- Mevsimlere ve hava durumuna bağlı olarak, PV sistemlerinden toplanan enerji çok değişkendir. Ancak elektrikli bisikletlerin sıklıkla şarj edilmesi gerekmektedir.
- PV sistemlerinden gelen ve o an için bisikletler, scooterlar ve ev için gerekli olmayan enerji, elektrik şebekesine beslenmelidir. Şebekeye değişken güç besleyen çok sayıda PV sistemi varsa, bu dengesiz bir enerji kaynağına neden olacaktır.

1.2. Yük Yönetim Sistemleri

Şebekenin otonom sistemde üretilen enerjiden maksimum verimin alınması ve tüketimi için kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle bağımsız çalışan, farklı senaryolara uyum sağlayan ve ihtiyaç duyulduğunda kullanıcı konforunu artıran yük yönetim sistemleri ortaya çıkmaktadır. Yük yönetim sistemlerinin, yenilenebilir enerjinin daha fazla kullanılması yoluyla birçok çevresel ve sosyal faydanın yanı sıra tüketicilere çok büyük faydalar sağladığı açıktır [7]. Yük yönetim sistemi, güç üreticileri tarafından üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin güç ve yük faktörünü artırmak için yük eğrilerini değiştirmeye yönelik bir uygulamadır [16]. Enerji kaynaklarının hızla tükenmesi, yenilenebilir olmaması ve fiyatının çok yüksek olması günümüzün en büyük sorunlarından biri haline gelmiştir. Bu nedenden dolayı dünya çapında enerji tasarrufu politikaları benimsenmiştir. Özellikle enerji tüketimi bir evin inşa aşamasında maliyetlerini etkileyen faktörlerin önemli bir parçasıdır. Bu maliyetler, enerji tasarrufu önlemleri uygulanarak azaltılabilir [17].

Elektrik talebi gün içinde dengesizdir ve yoğun dönemlerdeki talep günün geri kalanındaki talepten çok daha fazladır. Arz tarafı, üretim, iletim ve dağıtım ağı ile sınırlıdır. Geçmişte en büyük sorunlar elektrik enerjisi açığı veya yetersiz altyapıdan kaynaklanıyordu. Bu tür sorunlar, üretim, dağıtım kapasitesinin genişletilmesi veya elektrik ithal edilmesi yoluyla çözülmüştür [18].

Elektrik şebekelerindeki yük ile ilgili sorunların ekonomik ve teknik gerekçeleri olabilir. Yük yönetimi yöntemlerinin uygulanmasındaki en güçlü argümanlar arasında ekonomik olması, yeni bir santral inşaatı

ihtiyacını ertelemeyi hedeflemesi, gerçek maliyetleri enerji fiyatlarına yansıtması, enerji tüketimini azaltması ve elektrik faturasında tasarruf sağlamasıdır [18].

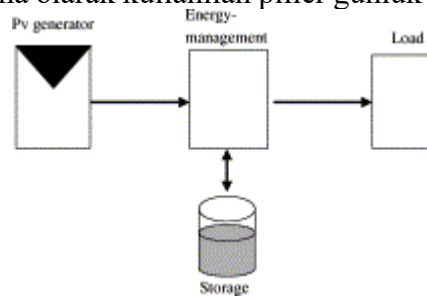
1.3. Bataryalar

Batarya, elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştüren, depolayan ve depolanan kimyasal enerjiyi gerektiğinde elektrik enerjisine çeviren bir cihazdır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen enerji çevresel faktörlere göre değişiklik gösterdiği için depolanması gerekmektedir. Piller depolama aygıtı olarak kullanılır [7]. Kullanıcının tercihine bağlı olarak, ev tipi elektrik santrali konfigürasyonuna depolama cihazları dâhil edilebilir. Başlangıç maliyeti önemli ölçüde artsa bile verim makul olacaktır.

Fotovoltaik sistemlerde, üretilen güç ve yükün gücü eşit değildir. Güneş enerjisi dalgalanmalarının etkisini azaltmak için bir depolama sisteminin kullanılması gereklidir. Daha basit bir yol, herhangi bir depolama cihazı kullanmadan elektriği doğrudan şebekeye aktarmaktır. Güneş radyasyonunun gün içinde farklı dalgalanma periyotları olduğu için, farklı depolama büyüklükleri mümkündür. Fotovoltaik sistemleri kesintisiz çalıştırmak için depolamanın minimum boyutu bir gecelik enerji içeriğidir. Fotovoltaik gücünün mevsimsel bir etkisi varsa, maksimum makul depolama boyutu, yaz ve kış ayları arasındaki farkları eşitleyecek mevsimsel bir depolama olacaktır. Belirli bir sistem için en iyi depolama boyutunu bulmak bir optimizasyon görevidir. Bu optimum depolama boyutu, ortam, sistem ve depolama parametrelerine bağlıdır. Dolayısıyla şarj durumu SOC(t) aşağıdaki kısıtlamalara sahiptir:

$$SOC_{min} < SOC(t) \leq SOC_{max}$$

Şekil 3'de gösterildiği gibi depolama olarak kullanılan piller günlük enerji talebinin %33'ü kadardır [19].

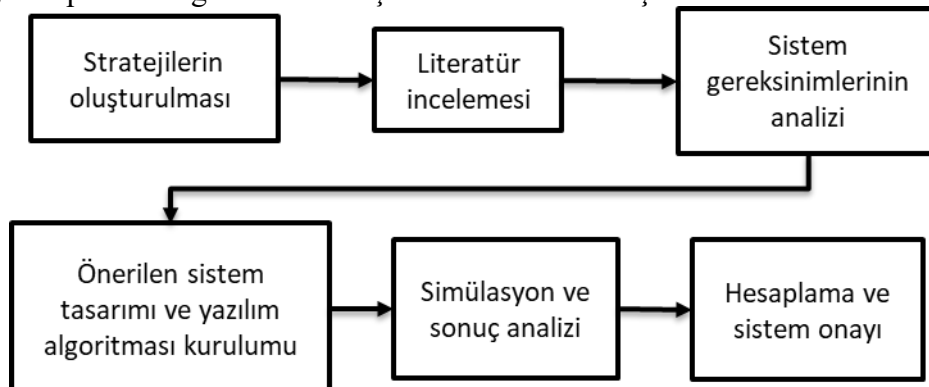


Şekil 3. Depolamalı tipik bir PV sistemi [19].

2. Yöntem

Fizibilite bir PV sisteminin koşullarını modeller ve potansiyel performans özelliklerini ve ekonomik uygulanabilirliğini belirler. Bu bölümde, bir PV sisteminin ana bileşenleri sunulmakta, sistemi değerlendirmek için kullanılan performans ölçütleri ana hatlarıyla verilmekte ve bir fizibilite modeli açıklanmaktadır.

Gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye, dışa bağımlılığı azaltmak ve %100 yenilenebilir kaynaklardan elektrifikasyon yapmak için birçok proje üstlenmektedir. Şekil 4, genel konseptin yanı sıra ve çalışmada takip edilen metodolojiyi göstermektedir. Güneş paneli, önerilen sistem tarafından belirlenen belirli yükleri kontrol eden ve enerji sağlayan şarj kontrol cihazına enerji sağlar. Ek olarak, sistem algoritması, akış şeması, sonuç analizi, simülasyon, hesaplama ve genel sistem açıklamasını özetlemiştir.



Şekil 4. Takip edilen metodoloji.

Tüm sistemin matematiksel modeli geliştirilmiş ve modelde fotovoltaik panel enerji üretiminin belirlenmesi için referans denklemi aşağıda gösterilmiştir.

$$E_{PV}(t) = \eta \cdot A \cdot R(t)$$

Burada $E_{PV}(t)$ zaman içindeki güç çıkışıdır, A PV alanıdır (m^2), η PV sisteminin verimliliğidir ve $R(t)$ gelen güneş radyasyonudur (W/m^2). Sistem verimliliği $\eta = \%15$ olarak varsayılmıştır. Elektrikli scooterı olan ortalama bir ev senaryosunda bir günde 16 kW enerji, aylık olarak ortalama 466 kW elektrik kullanılmaktadır. Ortalama olarak alınan ev günde 15 kW kullanılmaktadır. Elektrikli scooterı olan ev sahibi scooterı işe gidip gelmek üzere haftanın 5 günü kullanılmaktadır. Elektrikli scooter günde tek dolmuş 800 W harcamaktadır. Aylık bazda Elektrikli Scooter 16 kW elektrik harcamaktadır. Toplamda senaryodaki ev 496 kW enerji harcamaktadır. Elektrikli scooterın etiket değerleri Tablo 1’de gösterilmiştir [20].

Tablo 1. Seçilen elektrikli scooter özellikleri [20]

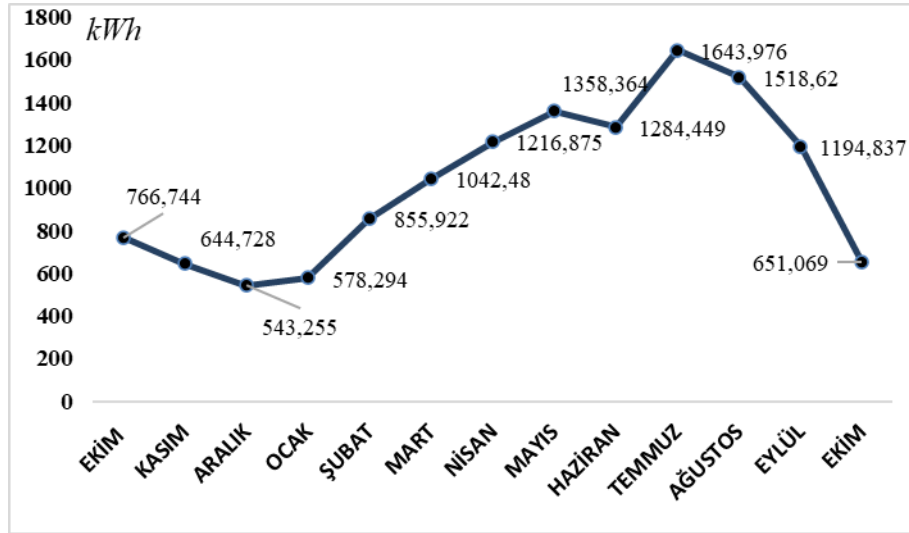
Özellikler	Değerler
Marka	ONVO Elektrikli Scooter
Motor	800 W
Max. Hız	45 Km Hız
Max. Menzil	40 - 50 Km
Lithium Batarya	48 V 10 Ah
Max. Taşıma Kapasitesi	150 Kg
Mak. Yokuş Tırmanma	30 Derece
Su Geçirmezlik	IPX4
Amortisör	Ön ve Arka çift sistem süspansiyon
Tekerlek Boyutu	10 inç geniş offroad pnömik lastik
Fren	Ön ve Arka disk fren
LCD Ekran	Hız, güç göstergesi, menzil
Şarj Voltajı	100 - 240 V (INPUT) / 54.6 V (OUTPUT) / 2A
Şarj Süresi	5 - 7 saat
Paket Boyutu	118*27*45 cm
Brüt Ağırlık	24 kg

Ardahan ilinde ortalama güneş aralığı 11 saat olarak alınmaktadır. Panellerimiz güneş takip sistemli olup (güneşin hareketine göre hareket etmektedir), 11 saat tam kapasite üretmektedir. Bu verilere göre; bir panel günde ortalama 4,950 kW elektrik üretmektedir. Sistemimizde 4 adet panel bulunmaktadır. Panellerimiz ayda ortalama 594 kW elektrik üretmektedir. Bu çalışma için seçilen güneş panelinin etiket bilgileri Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Seçilen solar panel özellikleri [21]

Özellikler	Değerler
Üretici	Gazioğlu Solar Enerji
Modül Güç Sınıfı / Module Class	GSE-HC450MP
V _{mpp} (±3%)	41,41 V
I _{mpp} (±3%)	10,88 A
V _{oc} (±3%)	48,79 V
I _{oc} (±3%)	11,39 A
Hücre Teknolojisi/ Cell Tech.	Half Cut Mono-PERC
Koruma Sınıfı / Satefy Class	II
Max Akım Kor. / Max OC Protect	20A
Max. Sis. Volt. / Max Sys Voltage	1500 VDC
Boyutlar / Dimensions	2096 x 1040 x 40 mm
Ağırlık / Weight	24 kg
Yangın Sınıfı / Fire Rating	C Sınıfı / Class C
Çalışma Sıcaklığı / Oper. Temp.	-40 C / +85 C
Koruma Kat. / Safety Factor Ym	1,5

Güneş enerjisi verilerini aldığımız Hanak Belediyesi Güneş Enerjisi Santrali Ardahan'ın Hanak ilçesindedir (41°15'32.2"N 42°51'16.2"E). Belediyeye ait santral 1250 kVa kurulu gücü, 2109 panel ve 1.200m aktarım hattı ile Hanak ilçesinin %12,5 enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Yılda ortalama 2.310 saat/yıl güneş alan bölgede santral 19,5 dönüm üzerine kurulmuştur. Santral ortalama 4000 kWh elektrik üretimi ile yaklaşık 450 kişinin günlük hayatında ihtiyaç duyduğu tüm elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilir. Sadece konut elektrik tüketimi dikkate alındığında ise günlük 115 konutun elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilecek elektrik üretimi yapmaktadır. Şekil 5'de 2021-2022 yılına ait bir panelin ürettiği elektriğin ay bazında dağılımını göstermektedir.



Şekil 5. Bir panelin Ardahan ilinde ürettiği elektrik enerjisi (2021-2022)

2.1. İnvörtör

İnvörtör, doğru akımı alternatif akıma çeviren bir cihaza verilen isimdir. Elektrik enerjisi dönüştürme elemanı olarak da tanımlanabilir [22]. İnvörtörler, bir DC kaynağından gelen voltajı işleyen ve AC voltajı üretmek için kullanılan elektronik devrelerdir. On-grid invörtörler lisanssız güneş enerjisi sistemlerinde üretilen elektriği dönüştürmek için kullanılır. Sistemimizde on-grid invörtör kullanılmıştır [23]. Sistemde 20 kW'lık trifaze bir invörtör yeterli olmaktadır. İnvörtör seçimi şebekeden bağımsız sistemimiz içindir. Şebekeye bağlı sistemde off-grid bir invörtör kullanılmıştır. İnvörtör etiket bilgileri Tablo 3'de detaylı olarak gösterilmiştir.

Tablo 3. Seçilen invörtör etiket değerleri

Özellikler	Değerler
Üretici, Güç	Lexron 20kW
Max. DC Input Power (Kw)	26
Max. DC Input Voltage (V)	1000
Start-Up DC Input Voltage (V)	250
MPPT Operating Range (V)	200-850
Max. DC Input Current (A)	25 + 25
Number of MPPT / Strings Per MPPT	2
Size (Mm)	400Wx520Hx250.5D
Wight (Kg)	28

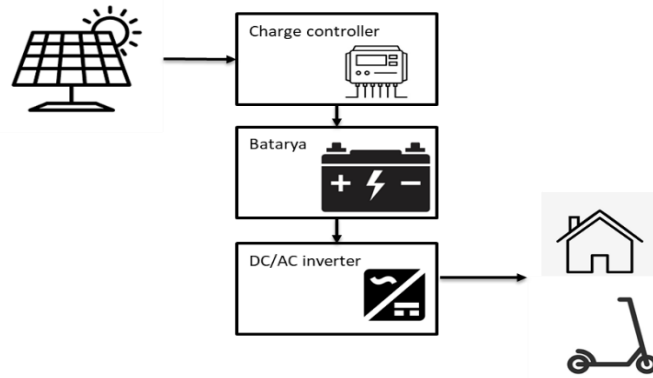
Genel olarak invörtörler, büyük ölçekli PV sistemlerinin arızalanmasının başlıca nedenidir. Kalite ve kullanım ömrü sorunlarına ek olarak, solar PV invörtörlerinde güç verimliliğini kısıtlamıştır. Normalde Si teknolojisi ile invörtör verimliliği %94–96 civarındadır ve yük azaldıkça verimlilik %94'ün altına düşebilir [24]. Şebekeden bağımsız sistemde 4 adet seri bağlı 12V 100 Ah'lik akü kullanılmıştır. Akü etiket bilgileri Tablo 4'de detaylı olarak gösterilmektedir.

Tablo 4. Seçilen akü özellikleri

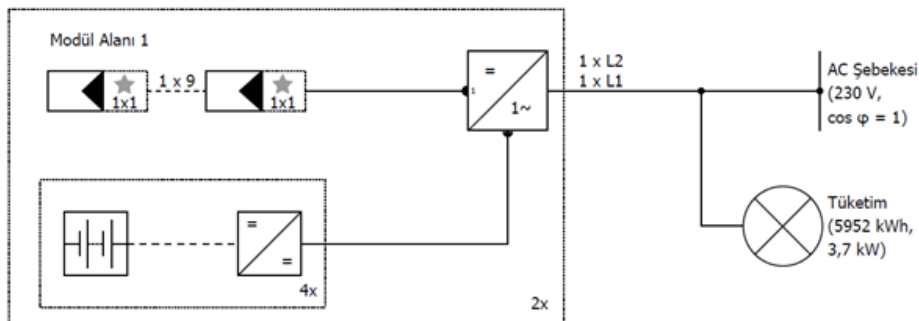
Özellikler	Değerler
Üretici	Solar 7/24 Deepcycle Jel Akü
Nominal Voltaj	12 V
Kapasite	100 Ah / 20 Hr
Deşarj Akımı	0,17 C
Şarj Akımı	2,4 V
Şarj Deşarj Kapasitesi	120%
Şamandıra tasarım Ömrü	12 yıl
Sızdırmama Kapasitesi	400 döngüde %100 deşarj derinliği
Ölçüler (UxGxY)	500 x 180 x 195 mm
Ağırlık	31 kg

2.2. Güneş Paneli ile Enerji Dönüşümü

Tüm sistem iki parçaya ayrılmıştır ve ilk bölüm PV panelden sağlanacak güç girişidir. İkinci blok, yükü de kontrol eden şarj kontrolörü, depolama sistemi, batarya ve yüküdür. Bağımsız bir PV ev sistemi tasarımı Şekil 6'da gösterilmektedir.

**Şekil 6.** Ev ölçeğinde güneş enerji sisteminin kavramsal çizimi

Şebekeden bağımsız sistemimiz için 4 adet 450 W panel, 20 kW on-grid trifaze invertör ve 4 adet 12 V seri bağlı akü grubumuzla sistemimiz tamamlanmıştır. Aylık bazda ortalama 594 kW elektrik üretimi gerçekleştirildi. Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan maliyet 67.449,79 TL (3590\$) olmuştur. Şekil 7'de şebekeden bağımsız ortalama bir evin simülasyon sonucu gösterilmiştir.

**Şekil 7.** Şebekeden bağımsız ortalama bir evin simülasyon sonucu

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada ortalama bir evin günlük olarak enerji sarfiyatı belirlenmiş, güneş verileri Ardahan ilindeki bir işletmenin güneş enerji santralinden aylık periyotlar halinde bir yıllık olarak alınmış ve tamamen gerçek veriler kullanılmıştır. Çalışma sonucu olarak evin enerji ihtiyacı PV paneli tarafından karşılanmıştır. Ayrıca bir akü sistemi ile şebekeden bağımsız olarak yük yönetimi sağlanmış ve simülasyon sonucunda yük kontrollü sistemlerde kritik yüklerin kontrolsüz sistemlere göre 3 kata kadar daha uzun ömürlü olduğu tespit edilmiştir. Fotovoltaik sektörü başta olmak üzere yenilenebilir enerji sektörüne sağlanacak katkılar, enerji konusunda dışa olan bağımlılığımızı da azaltacaktır.

Şebekeye bağlı sistemde akü sistemi olmadığından dolayı maliyet açısından daha avantajlı görünmektedir. Ancak iklim şartlarını göz önünde bulundurursak zorlu ve soğuk iklimlerde akıllı yük yönetim sistemi kullanılması daha uygundur.

Yenilenebilir ve sürdürülebilir güneş enerjisi yüksek etkiye sahiptir ve geleneksel fosil yakıtların etkili bir ikamesidir. Kullanımı NO_x, CO_x, ve CH_x emisyonunu azaltır ve küresel ısınma tehdidinin üstesinden gelmek için daha çevreci bir seçenek sunar. Geçtiğimiz birkaç on yılda, atmosferde sera gazlarının birikmesiyle bağlantılı potansiyel tehlikeler konusunda artan bir endişe vardır. Enerji kullanımı iklim değişikliğine ve çevreye önemli bir etki sağladığından, güneş enerjisinin gerçekten de çevre ve iklim değişikliğini hafifletecek ölçekte kullanılması, fosil yakıtın sınırlı doğası ile birlikte günümüzün elektrik enerjisi sistemi için ciddi zorluklar oluşturacaktır. Bu çalışmada, küresel enerji talebi için gelecekteki ekonomik, güvenilir ve iklim dostu bir güç sisteminin sağlanması önerilmektedir. Basit güneş enerjisi yakalamanın gösterimi ve yenilikçi güneş paneli tarafından elde edilmesi gerçekten de küresel enerji talebini tam olarak karşılayacaktır. Bu sonuçlar sadece umut verici değil, aynı zamanda çevre dostu olduğu kadar sürdürülebilir bir enerji kaynağı olacak güneş enerjisinin maksimum kullanımı için küresel olarak teşvik edebilecek ölçüde çok hesaplıdır.

Gelecekteki çalışmanın amacı, yoğun ve yoğun olmayan saatlerde bir evdeki ağır yük cihazlarının otomatik kontrolünü yönetmek olacaktır. Elektrik dağıtım firması, mikrodenetleyicide besleme olarak hesaplanan temel yük değerleri ile yük cihazlarını kontrol edecektir.

Kaynakça




- [1] M. Akçin, B. Baykant Alagöz, C. Keleş, A. Karabiber, and A. Kaygusuz, "Dağıtık Kontrol ile Akıllı Şebekelerde Geniş-alan Yönetimi ve Geleceğe Dönük Projeksiyonlar," *SAU J. Sci*, vol. 17, no. 3, pp. 457–470, 2013.
- [2] A. Sagbaş and B. Başbuğ, "Sürdürülebilir Kalkınma Ekseninde Enerji Verimliliği Uygulamaları: Türkiye Değerlendirmesi," *EJEAS Eur. J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 1, no. 2, pp. 43–50, 2018, [Online]. Available: <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/615038>
- [3] G. Resch, A. Held, T. Faber, C. Panzer, F. Toro, and R. Haas, "Potentials and prospects for renewable energies at global scale," *Energy Policy*, vol. 36, no. 11, pp. 4048–4056, Nov. 2008, doi: 10.1016/j.enpol.2008.06.029.
- [4] C. Lins, L. E. Williamson, S. Leitner, and S. Teske, "The first decade: 2004—2014: 10 years of renewable energy progress. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century," *REN21*, 2014.
- [5] E. Amal, K. Yilmaz, and E. Özdemir, "Rüzgar Enerji Santrallerinin Elektrik Şebekesine Etkilerinin İncelenmesi," *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, Dec. 2022, doi: 10.53410/koufbd.1096254.
- [6] T. Mazhar *et al.*, "Electric Vehicle Charging System in the Smart Grid Using Different Machine Learning Methods," *Sustainability*, vol. 15, no. 3, p. 2603, Feb. 2023, doi: 10.3390/su15032603.
- [7] G. S. Aslan, "Şebekeden Bağımsız Bir Ev İçin Akıllı Yük Yönetim Sistemi," Ege Üniversitesi, İzmir, 2019.
- [8] D. Çelik, M. E. Meral, and M. Waseem, "The progress, impact analysis, challenges and new perceptions for electric power and energy sectors in the light of the COVID-19 pandemic," *Sustain. Energy, Grids Networks*, vol. 31, p. 100728, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.segan.2022.100728.
- [9] Ç. Adıyaman, "Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikaları," Niğde Üniversitesi, 2012.
- [10] Ö. Torunoğlu Gedik, "Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları ve çevresel etkileri," İstanbul Technical University, 2015.
- [11] K. Kaya, M. C. Şenel, and E. Koç, "Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının

- Değerlendirilmesi,” *NWSA Acad. Journals*, vol. 13, no. 3, pp. 219–234, Jul. 2018, doi: 10.12739/NWSA.2018.13.3.2A0152.
- [12] IEA – International Energy Agency, “World Energy Outlook 2022,” 2023. Accessed: Apr. 06, 2023. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- [13] S. Ghosh and R. Yadav, “Future of photovoltaic technologies: A comprehensive review,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 47, p. 101410, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.seta.2021.101410.
- [14] C. Hakyemez, “Aylık Enerji Bülteni, Aralık 2021 #43,” *TSKB Ekon. Araştırmalar*, 2022.
- [15] S. Mesentean, W. Feucht, H.-G. Kula, and H. Frank, “Smart charging of electric scooters for home to work and home to education transports from grid connected photovoltaic-systems,” in *2010 IEEE International Energy Conference*, IEEE, Dec. 2010, pp. 73–78. doi: 10.1109/ENERGYCON.2010.5771778.
- [16] K. Tanrıöven, H. Cengiz, and E. Metin, “Yük Yönetim Sistemi ve Techizatları,” in *II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi*, Izmir, 2011.
- [17] G. Mumlu, “Enerji yönetim sistemi ve bir sanayi tesisinde enerji yönetimi uygulaması,” Sakarya Üniversitesi, 2008.
- [18] K. Kostková, E. Omelina, P. Kyčina, and P. Jamrich, “An introduction to load management,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 95, pp. 184–191, Feb. 2013, doi: 10.1016/j.epsr.2012.09.006.
- [19] A. Jossen, J. Garche, and D. U. Sauer, “Operation conditions of batteries in PV applications,” *Sol. Energy*, vol. 76, no. 6, pp. 759–769, 2004, doi: 10.1016/j.solener.2003.12.013.
- [20] ONVO, “ONVO OV-110 Elektrikli Scooter 800W,” 2022. <https://onvo.com.tr/urunler/scooter/onvo-ov-110-elektrikli-scooter-800w/> (accessed Nov. 25, 2022).
- [21] Gazioğlu Solar, “Güneş Panelleri Ürünlerimiz,” 2019. <http://gazioglusolar.com.tr/urunlerimiz> (accessed Nov. 25, 2022).
- [22] Solaravm, “İnverter Seçerken Nelere Dikkat Etmeliyiz?,” 2022. <https://solaravm.com/inverter-secerken-nelere-dikkat-etmeliyiz-2> (accessed Nov. 25, 2022).
- [23] İncitaş Motorlu Araçlar San. ve Tic. A.Ş., “İnverter (invertör) Nedir? İnverter Ne İşe Yarar?,” 2022. <https://www.incitas.com.tr/bilgi-merkezi/blog/inverter-invertor-nedir-inverter-ne-ise-yarar> (accessed Nov. 25, 2022).
- [24] R. Dogga and M. K. Pathak, “Recent trends in solar PV inverter topologies,” *Sol. Energy*, vol. 183, pp. 57–73, May 2019, doi: 10.1016/j.solener.2019.02.065.



Research Article

Investigation of Hyperbolic Type Solutions of the Fitzhugh-Nagumo Model in Neuroscience

Hulya Durur¹ , Aleyna Aydın² , Reyhan Arslanturk³ 

¹ Department of Computer Engineering, Ardahan University, 75002 Ardahan, Türkiye

² Department of Advanced Technologies, Ardahan University, 75002 Ardahan, Türkiye

³ Department of Advanced Technologies, Ardahan University, 75002 Ardahan, Türkiye

* Correspondence: hulyadurur@ardahan.edu.tr

Received: 20 April 2023; Accepted: 28 May 2023; Published: 30 June 2023

Abstract: This article aims to obtain analytical solutions of the Fitzhugh – Nagumo model, which has an important place in neuroscience. The $\frac{1}{G}$ - expansion method is used to obtain the solutions. Hyperbolic type travelling wave solutions are produced by using the $\frac{1}{G}$ - expansion method, which is an effective and efficient method in solving nonlinear partial differential equations (NLPDEs). Then 3D, 2D and contour graphs are presented using a computer program.

Keywords: Fitzhugh – Nagumo model, hyperbolic type solution, $\frac{1}{G}$ - expansion method

Araştırma Makalesi

Sinirbilimde Fitzhugh-Nagumo Modelinin Hiperbolik Tip Çözümlerinin İncelenmesi

Öz: Bu makale sinirbilimde önemli bir yere sahip olan Fitzhugh – Nagumo modelinin analitik çözümlerini elde etmeyi amaçlamaktadır. Çözümleri elde etmek için $\frac{1}{G}$ - açılım yöntemi kullanılır. Lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemlerin (NLPDE) çözümünde etkili ve verimli bir yöntem olan $\frac{1}{G}$ -açılım yöntemi kullanılarak hiperbolik tip gezici dalga çözümleri üretilmektedir. Daha sonra bir bilgisayar programı kullanılarak 3 boyutlu, 2 boyutlu ve kontur grafikleri sunulur.

Anahtar Kelimeler: Fitzhugh – Nagumo modeli, hiperbolik tip çözüm, $\frac{1}{G}$ -açılım yöntemi

Citation: H. Durur, A. Aydın and R. Arslanturk, “Investigation of Hyperbolic Type Solutions of the Fitzhugh-Nagumo Model in Neuroscience”, *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 1, no. 1, pp. 11-16, Jun 2023, doi: 10.5281/zenodo.8074822

1. Introduction

Fitzhugh – Nagumo (FN) model, which is one of the NLPDEs used in many fields such as mathematics, physics, biology and physiology, has attracted great interest from physicists and mathematicians in recent years due to its place in science [1]. The FN model is a simple equation of the Hodgkin-Huxley model and is generally used in the transmission and stimulation of nerve impulses in physiology [2]. Its appearance in population genetics, circuit theory and optics shows that it has a very important place in our lives [3]. In addition, the FN model is known as a nonlinear reaction-diffusion equation or nonlinear evolution equation [4-8].

There are various studies in the literature in which numerical and analytical solution methods of the FN model are obtained. On the FN model; Huaying and Yucui have been found their exact solutions using the first integral method [3], Yokus has been compared the numerical solutions they found by applying the finite forward difference method and the automatic backlout transformation method and the approximate solutions [2], Nourazar et al. have been found exact solution by applying the the homotopy perturbation method [9], Li and Guo have been reached exact solutions of FN model using the first integral method [10]. Dehghan et al. (2010) have been compared the results of numerical methods applied to the FN model with the results of analytical methods [4].

Today, there are various studies with analytical methods. For example, Durur et al. have been found analytical solutions for the system that models nematicons [11]. Subaşı and Durur have been reached the travelling wave solutions of the Shallow Water-Like equation [12]. Li et al. have been found travelling wave solutions of Zakharov equations [13], Duran has been found the solitary wave solutions of the coupled Konno-Oono equation [14] and the (2+1)-D Boiti Leon Pempinelli system [15], Zayed et al. have been found wave solutions of the (3+1)-D Kadomtsev-Petviashvili equation [16], Yokus et al. have been found exact solutions of Bogoyavlenskii equation [17].

In this study, the FN model, which is a neuroscience model, is as follows:

$$u_t = u_{xx} - u(\alpha - u)(1 - u). \quad (1.1)$$

The purpose of this study is to obtain hyperbolic wave solutions by applying the $\frac{1}{G'}$ method, one of the analytical solution methods, on the FN model. In the second part of the study $\frac{1}{G'}$ method will be explained, in the third part $\frac{1}{G'}$ method will be applied on the FN model and solutions will be presented with contour, 3D and 2D graphs, and in the fourth part, the result will be.

2. $\frac{1}{G'}$ - Expansion Method

Data were collected using the $\frac{1}{G'}$ - expansion method. The $\frac{1}{G'}$ - expansion method is a new model developed by Yokus in his doctoral thesis in 2011, inspired by the $\frac{G'}{G}$ - expansion method. Since the $\frac{1}{G'}$ method is an easier and uncomplicated method than the $\frac{G'}{G}$ - expansion method, it is a more advantageous method in terms of processing intensity [18]. The $\frac{1}{G'}$ method is an effective method for finding analytical solutions of NLPDEs.

The general form of the family of NLPDEs is as follows.

$$P\left(u, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \dots\right) = 0. \quad (2.1)$$

$u = u(x, t) = U(\xi), \xi = kx + vt, v \neq 0$. v is the wave velocity and is constant. We can convert it to the following nonlinear ODE for $U(\xi)$:

$$K(u, u', u'', u''', \dots) = 0. \tag{2.2}$$

Solution of equation (2.2);

$$u(\xi) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \left(\frac{1}{G'}\right)^i. \tag{2.3}$$

Here $a_i, i = (1, 2, 3, \dots, n)$ a scalar transform into $G = G(\xi)$ a quadratic ordinary differential equation. The n is balancing term between the highest order linear term and the highest order nonlinear term in the Equation.

$$G'' + \lambda G' + \mu = 0. \tag{2.4}$$

Here λ and μ are constants,

$$\frac{1}{G'(\xi)} = \frac{1}{-\frac{\mu}{\lambda} + A \cosh[\xi\lambda] - A \sinh[\xi\lambda]}. \tag{2.5}$$

The desired derivatives of equation (2.3) were calculated and a polynomial was obtained by $\frac{1}{G'}$ method by substituting in equation (2.2). Setting the polynomial's coefficients to zero created a system of algebraic equations. This equation was solved using the Mathematica package program and the default equation (2.2) was replaced in the solution function. Finally (2.1) the solutions of the equation were found.

3. Solutions of the FN Equation

In this section, the traveling wave solutions of equation (1.1) will be generated using the $\frac{1}{G'}$ -expansion method. In general, expansion methods are used to transform the partial differential equation into an ordinary differential equation using the classical wave transform. The state of equation (1.1) after $u = u(x, t) = U(\xi), \xi = kx + vt, v \neq 0$ transformation is as follows

$$vU' - k^2U'' + U(1-U)(\alpha - U) = 0. \tag{3.1}$$

v represents the wave velocity and k wave number in this transformation [19].

The balancing term between the highest order linear term U'' and the highest order nonlinear term U^3 in the equation comes with $n = 1$.

$$U(\xi) = a_0 + a_1 \left(\frac{1}{G'}\right). \tag{3.2}$$

It is calculated by substituting the equation given in equation (3.2) in equation (3.1).

After some mathematical operations, a polynomial equation based on the $\frac{1}{G'}$ - expansion method is created. The coefficient of each term in this polynomial is zero. This gives the following system of equations.

$$\begin{aligned} Const : \alpha a_0 - a_0^2 - a_0^3 &= 0, \\ \frac{1}{G'[\xi]} : \alpha a_1 + v\lambda a_1 - k^2\lambda^2 a_1 - 2a_0 a_1 - 2\alpha a_0 a_1 + 3a_0^2 a_1 &= 0, \\ \frac{1}{G'[\xi]^2} : v\mu a_1 - 3k^2\lambda\mu a_1 - a_1^2 - \alpha a_1^2 + 3a_0 a_1^2 &= 0, \\ \frac{1}{G'[\xi]^3} : -2k^2\mu^2 a_1 + a_1^3 &= 0. \end{aligned} \tag{3.3}$$

Using a software application, the constants $v, k, \lambda, \alpha, \mu, a_0$ and a_1 are obtained in equation (2.3).

Case 1. If

$$a_0 = 0, \quad a_1 = \sqrt{2k\mu}, \quad v = -\frac{k}{\sqrt{2}} + \sqrt{2k\alpha}, \quad \lambda = -\frac{1}{\sqrt{2k}}, \tag{3.4}$$

the constants given in the equation (3.2) are replaced by the values in the equation (3.4), a hyperbolic solution of the equation (1.1) is obtained.

$$u_1(x, t) = \frac{\sqrt{2k\mu}}{\sqrt{2k\mu} + A \cosh \left[\frac{kx + t \left(-\frac{k}{\sqrt{2}} + \sqrt{2k\alpha} \right)}{\sqrt{2k}} \right] + A \sinh \left[\frac{kx + t \left(-\frac{k}{\sqrt{2}} + \sqrt{2k\alpha} \right)}{\sqrt{2k}} \right]}. \tag{3.5}$$

In expansion methods, traveling wave solutions are produced under some restrictive conditions. In the (3.5) traveling wave solution the restrictive condition is $k \neq 0$.

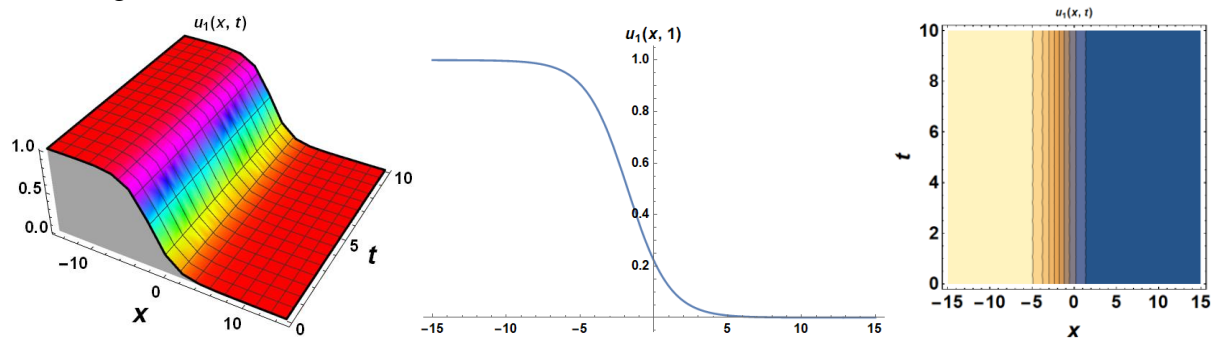


Figure1. Graphs of (3.5) equation are also given in Figure1 for $k = 0.2, \mu = 1, \alpha = 0.5, A = 1$.

Case 2. If

$$\alpha = \frac{1}{2}, \quad a_0 = \frac{1}{2}, \quad a_1 = \sqrt{2k\mu}, \quad v = \frac{3k}{2\sqrt{2}}, \quad \lambda = \frac{1}{2\sqrt{2k}}, \tag{3.6}$$

the constants given in equation (3.2) are replaced by the values in equation (3.6), a hyperbolic solution of equation (1.1) is obtained.

$$u_2(x, t) = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{2k\mu}}{-2\sqrt{2k\mu} + A \cosh \left[\frac{\frac{3kt}{2\sqrt{2}} + kx}{2\sqrt{2k}} \right] - A \sinh \left[\frac{\frac{3kt}{2\sqrt{2}} + kx}{2\sqrt{2k}} \right]}. \tag{3.7}$$

Similarly, the restrictive condition in the (3.7) solution is $k \neq 0$.

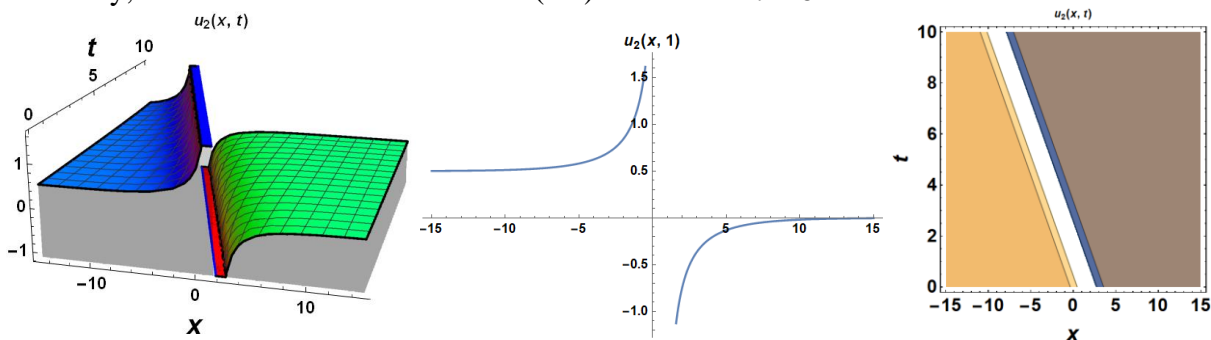


Figure2. Graphs of (3.7) equation are also given in Figure2 for $k = 0.2, \mu = 1, \alpha = 0.5, A = 1$.

4. Conclusion

The aim of this study was to obtain exact solutions of the FN model. The $\frac{1}{G}$ - expansion method, which is frequently used in analytical solutions, was applied. The computer package program was used to create the

solutions. For the FN model, the $\frac{1}{G}$ -expansion method was found to be easy and effective to apply. Then, the hyperbolic type solutions of the FN model were obtained from the computer ready package program. As a result, these solutions are available in 3D, 2D and contour graphics.

References



- [1] A. H. Bhrawy, "A Jacobi–Gauss–Lobatto collocation method for solving generalized Fitzhugh–Nagumo equation with time-dependent coefficients", *Applied Mathematics and Computation*, vol. 222, pp. 255-264, Oct. 2013, doi.org/10.1016/j.amc.2013.07.056.
- [2] A. Yokus, "On the exact and numerical solutions to the FitzHugh–Nagumo equation", *International Journal of Modern Physics B*, vol. 34, no 17, 2050149, Jun. 2020, doi.org/10.1142/S0217979220501490.
- [3] H. Li and Y. Guo, "New exact solutions to the Fitzhugh–Nagumo equation", *Applied Mathematics and Computation*, vol. 180, no 2, pp. 524-528, Sep. 2006, doi.org/10.1016/j.amc.2005.12.035.
- [4] M. Dehghana, J. M. Heris and A. Saadatmandi, "Application of semi-analytic methods for the Fitzhugh–Nagumo equation, which models the transmission of nerve impulses", *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, vol. 33, no 11, pp. 1384-1398, Jun. 2010, doi.org/10.1002/mma.1329.
- [5] S. Duran, "An investigation of the physical dynamics of a traveling wave solution called a bright soliton", *Physica Scripta*, vol. 96, no 12, 125251, Nov. 2021, doi.org/10.1088/1402-4896/ac37a1.
- [6] A. Yokus and M. A. Isah, "Stability analysis and solutions of (2+1)-Kadomtsev–Petviashvili equation by homoclinic technique based on Hirota bilinear form", *Nonlinear Dynamics*, vol. 109, no 4, pp. 3029-3040, Jun. 2022, doi.org/10.1007/s11071-022-07568-3.
- [7] A. Yokus and M. A. Isah, "Investigation of internal dynamics of soliton with the help of traveling wave soliton solution of Hamilton amplitude equation", *Optical and Quantum Electronics*, vol. 54, no 8, pp. 528, Jul. 2022, doi.org/10.1007/s11082-022-03944-w.
- [8] S. Duran, H. Durur and A. Yokuş, "Traveling wave and general form solutions for the coupled Higgs system", *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, vol. 46, no 8, pp. 8915-8933, Jan. 2023, doi.org/10.1002/mma.9024.
- [9] S. S. Nourazar, M. Soori and A. Nazari-Golshan, "On the homotopy perturbation method for the exact solution of Fitzhugh–Nagumo equation", *International Journal of Mathematics & Computation*, vol. 27, no 1, pp. 32-43, 2016.
- [10] H. Li and Y. Guo, "New exact solutions to the Fitzhugh–Nagumo equation", *Applied Mathematics and Computation*, vol. 180, no 2, pp. 524-528, Sep. 2006, doi.org/10.1016/j.amc.2005.12.035.
- [11] H. Durur, A. Yokuş and S. Duran, "Investigation of exact soliton solutions of nematicons in liquid crystals according to nonlinearity conditions", *International Journal of Modern Physics B*, 2450054, Mar. 2023, doi.org/10.1142/S0217979224500541.
- [12] M. Subaşı and H. Durur, "Refraction simulation of nonlinear wave for Shallow Water-Like equation", *Celal Bayar University Journal of Science*, vol. 19, no 1, pp. 47-52, Mar. 2023, doi.org/10.18466/cbayarfbe.1145651.
- [13] L. X. Li, E. Q. Li and M. L. Wang, "The (G'/G, 1/G)-expansion method and its application to travelling wave solutions of the Zakharov equations", *Applied Mathematics-A Journal of Chinese Universities*, vol. 25, pp. 454-462, Dec. 2010, doi.org/10.1007/s11766-010-2128-x.
- [14] S. Duran, "Solitary wave solutions of the coupled konno-ono equation by using the functional variable method and the two variables (G'/G, 1/G)-expansion method", *Adiyaman University Journal of Science*, vol. 10, no 2, pp. 585-594, Dec. 2020, doi.org/10.37094/adyujsci.827964.
- [15] S. Duran, "Extractions of travelling wave solutions of (2 + 1)-dimensional Boiti–Leon–Pempinelli system via (G'/G, 1/G)-expansion method", *Opt. Quantum Electron.*, vol. 53, no. 6, 299, Jun. 2021, doi.org/10.1007/s11082-021-02940-w.
- [16] E. M. Zayed, S. H. Ibrahim and M. A. M. Abdelaziz, "Traveling wave solutions of the nonlinear (3+1)-dimensional Kadomtsev–Petviashvili equation using the two variables (G'/G, 1/G)-expansion method", *Journal of Applied Mathematics*, vol. 2012, pp. 1-8, Jul. 2012, doi.org/10.1155/2012/560531.

- [17] A. Yokus, H. Durur, H. Ahmad, P. Thounthong and Y. F. Zhang, “Construction of exact traveling wave solutions of the Bogoyavlenskii equation by $(G'/G, 1/G)$ -expansion and $(1/G')$ -expansion techniques”, *Results in Physics*, vol. 19, 103409, Dec.2020, doi.org/10.1016/j.rinp.2020.103409.
- [18] A. Yokus, “Solutions of some nonlinear partial differential equations and comparison of their solutions”, Ph. Diss., Fırat University, Elazığ, 2011.
- [19] A. Yokuş, S. Duran and H. Durur, “Analysis of wave structures for the coupled Higgs equation modelling in the nuclear structure of an atom”, *The European Physical Journal Plus*, vol. 137, no 9, pp. 992, Sep. 2022, doi.org/10.1140/epjp/s13360-022-03166-9.



Research Article

Digital Assurance and Traceability of NFT-based Certificates

Nihat Zaman¹ , Nursena Baygın² *

¹ Department of Computer Engineering, Erzurum Technical University, 25000 Erzurum, Türkiye

² Department of Computer Engineering, Erzurum Technical University, 25000 Erzurum, Türkiye

* Correspondence: nursena.baygin@erzurum.edu.tr

Received: 28 April 2023; Accepted: 28 May 2023; Published: 30 June 2023

Abstract: With the development of technology in today's world, many sectors are conducting their activities in digital environments. This development strengthens the connection between users and the industry, and more efficient results are obtained. However, along with many advantages of digitization, there are also problems such as security loss, copyright infringement, and data corruption. The ease of replicating and distributing data on the internet is due to various security vulnerabilities. This study proposes a solution for protecting certificates issued to individuals by companies/institutions in the digital environment, following a certain degree of success. Certificates are used for job applications, competency verification, and similar purposes. Currently, fake certificates and diplomas produced create problems for institutions and organizations that verify competencies. In this respect, it is possible for people without the required skills to take unwanted positions. This study aims to prevent fake certificates propose a system that enables certificate holders and institutions to verify certificates. Additionally, it is aimed to make certificates traceable and provable in digital environments. The proposed method aims to create certificates using blockchain technology through smart contracts and to make them available to users on a website. Furthermore, it is suggested to use NFTs, another technology offered by blockchain, to provide intellectual property rights to certificates, enabling them to be monitored and owned on the internet.

Keywords: blockchain, non-fungible token, copyright, IPFS

Araştırma Makalesi

NFT Tabanlı Sertifikaların Dijital Güvencesi ve İzlenebilirliği

Öz: Günümüz dünyasında teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok sektör dijital ortamda faaliyetlerini yürütmektedir. Bu gelişme kullanıcı ile sektör arasındaki bağı kuvvetlendirmekte ve daha verimli sonuçlar alınmaktadır. Ancak dijitalleşmenin birçok avantajının yanında güvenlik kaybı, telif hakkı ihlali, veri bozulmaları gibi problemler de bulunmaktadır. İnternet ortamında verilerin kolaylıkla çoğaltılıp dağıtılması çeşitli güvenlik açıklarından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada şirketler/kurumlar tarafından belirli bir başarı doğrultusunda kişilere verilen sertifikaların internet ortamında korunmasına yönelik bir öneri sunulmaktadır. Sertifikalar iş başvurusunda, yetkinlik doğrulama gibi amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. Günümüzde üretilen sahte sertifika ve diplomalar yetkinlik doğrulayan kurum ve kuruluşların işini zora sokmaktadır. Bu doğrultuda yetkinlik sahibi olmayan kişilerin istenmeyen mevkilere gelebilmesi mümkün olabilmektedir. Bu çalışma ile sahte sertifikaların önüne geçilmesi, sertifika sahiplerinin ve kurumların sertifikaları doğrulamasını sağlayan bir sistem önerilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca sertifikaların dijital ortamlarda izlenebilir ve kanıtlanabilir olabilmesi hedeflenmektedir. Önerilen yöntemde blok zincir teknolojisi kullanılarak akıllı kontratlar vasıtasıyla sertifikaların oluşturulması ve internet sitesi üzerinde kullanıcılar tarafından alınabilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca blok zincirin sunduğu bir diğer teknoloji olan NFT'ler ile de sertifikaların fikri tapu mülkiyeti sağlanarak internet ortamında izlenmesi ve aitlik kazanması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: blok zincir, NFT, telif hakkı, IPFS

Citation: N. Zaman and N. Baygin, "Digital assurance and traceability of NFT-based certificates", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 1, no. 1, pp. 17-25, Jun 2023, doi: 10.5281/zenodo.8074838

1. Introduction

With the rapid development of technology, many systems have been updated and renewed. Industrial revolutions [1]–[3] have led to developments in areas such as mechanization, mass production, mass customization, the internet of things, big data, and cloud computing. These developments have brought innovations to human life such as fast production, personalized design, and communication between machines, but they have also caused various problems in many areas such as data security, supply-demand communication, and traceability. One of the most important of these problems is data security, which can pose serious threats. The WannaCRY virus attacked 300,000 computers in 150 countries in 2017, causing serious crises in many areas such as public administration, medicine, and finance [4]. The disclosure of user information damages the reputation of institutions and companies and also harms their market share. Cyberattacks require companies and governments to take serious measures in terms of information security. Scientists are conducting intensive research on data security issues, while companies are investing in data security.

With the development of the internet, copying and distributing data has become easier, leading to various problems in protecting copyright. As remote learning becomes more widespread, online courses are becoming increasingly popular. These courses, prepared by companies or public institutions, offer certificates to users who successfully complete certain training. This study proposes to ensure the security of these digital certificates and prevent their duplication, as well as establish a traceable structure. Blockchain technologies offer various advantages in terms of security and traceability in this regard. Nowadays, blockchain technology is used in many different fields such as healthcare, finance, and supply chain [5]. With its cryptographic infrastructure and decentralization, it offers revolutionary innovations in data security [6]–[8].

Another service provided by blockchain is the Non-Fungible Token (NFT) system, which produces immutable digital materials in the form of tokens [9]. Today, many use cases are being created for NFTs. One of these methods is providing ownership proof to users [10]. In this proposed study, NFTs will be used to prove and track certificate ownership on the blockchain. Fake certificates are currently a problem for companies and universities, both economically and ethically [11]. The aim of this study is to prevent the use of fake certificates and enable institutions to verify individuals' certificates and diplomas through a single system. When reviewing related literature [12] (certificate Vietnam), it was found that the aim was to protect patents, but the solution was different and the proposed application was a system that did not rely on non-transferable, unqualified intellectual property and was not directly accessible to users. Another developed project is the DSTAC project developed under the umbrella of Yeditepe University. The main goal of this project is to verify the certificates created through blockchain. In this context, it is seen that the study to be developed is completely different from other original ideas. In this study, we aim to find answers to the question of what can be done to make blockchain technology more widespread, which is attracting great interest from scientists and companies based on the following hypotheses.

- Blockchain technology is currently used in many areas, especially in the finance sector.
- NFTs are used to protect copyrights in areas such as music and art.
- The security of digitally produced certificates can be solved with blockchain technology

The aim of this study is to design a system that combines blockchain technology and the NFT system it offers to ensure certificate security, as well as to track and prove ownership of certificates in the digital realm. The system will address the need for transparency and security by utilizing the advantages of blockchain technology. The study aims to solve the global problem of certificate security and verifiability using the transferable qualified intellectual property technology of blockchain. The main contributions and motivation of this study are outlined below.

- Storing certificates with non-transferable qualified intellectual property on the blockchain.
- Verifying the identity of users and institutions and linking the created certificates to users' blockchain wallets.
- Allowing institutions to view a person's NFT certificates and diplomas on a single system, thereby preventing the use of fake certificates and diplomas.
- Analyzing the storage and verification conditions of paper diplomas in the current system and transferring them to the blockchain environment more effectively.

- Analyzing the systems and tools used by fake certificate manufacturers, taking necessary precautions, and addressing these vulnerabilities.
- Collecting users' certificates in a decentralized structure. Integrating institutions, organizations, and users worldwide into this system.

The rest of this study is organized as follows: section 2 provides the technical components of the proposed approach. Section 3 presents detailed information about the proposed method. Section 4 presents the results of the proposed method.

2. Technical Component

Since its introduction by Satoshi Nakamoto in 2008, blockchain technology has received significant attention from various industries [13]. Bitcoin blockchain was established to enable person-to-person money transfers by adopting principles of decentralization, immutability, anonymity, and transparency [14]. Seven years after the launch of Bitcoin blockchain, Ethereum blockchain was developed. In addition, to secure money transfers, Ethereum blockchain has contributed to making the blockchain more functional through smart contracts.

2.1. Blockchain

Blockchain technology is named as such because it keeps records of verified transactions on the blocks. A blockchain consists of two sides: validators and users. As shown in Figure 1, a user sends a transaction they wish to make to the blockchain. If the transaction is valid, it is added to the ledger by the record-keeping node. Once the transaction is verified, it is sent to validators to be confirmed in a block. The first validator to confirm the transaction adds the block to the blockchain. After the block is verified by other validators, the transaction is considered confirmed on the blockchain.

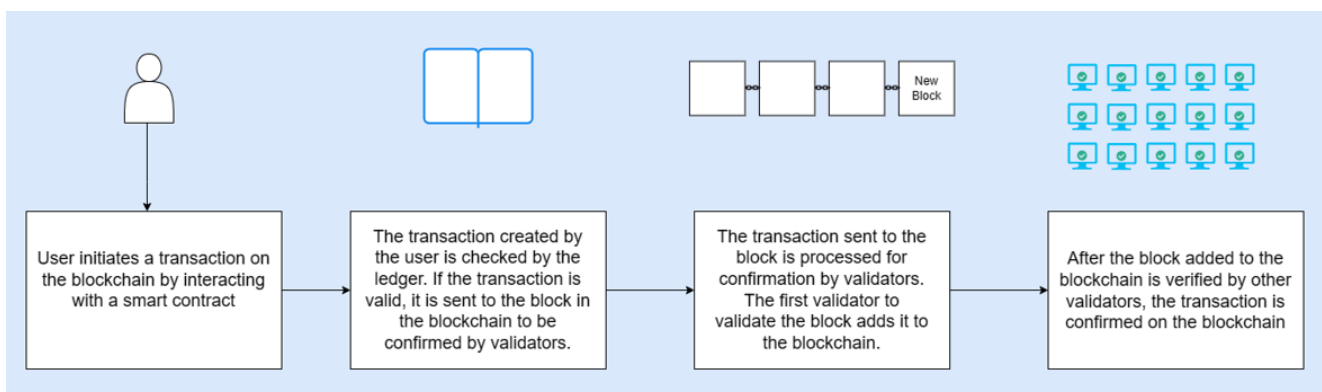


Figure 1. Transaction confirmation steps in blockchain

Blockchain is widely used in many fields today, especially in systems where security is required. In the literature, it is seen that the security advantages offered by blockchain are utilized in many applications such as the Internet of Things, RFID, healthcare, machine learning, copyright, mass customization, and more [15]–[19].

2.2. NFT (Non-Fungible Token)

Non-fungible tokens (NFTs) are digital assets created on the blockchain through smart contracts. NFTs can contain photos, sound, or video [20] and have many use cases today, including gaming, digital art, and identity verification. The fundamental difference between NFTs and cryptocurrencies is that NFTs do not have equal value. NFTs have two technological structures in their infrastructure. The first structure is on the blockchain, where NFTs are created through smart contracts. The second structure stores the content data of the NFT on the blockchain. When these two structures come together, an NFT supported visually and functionally is created. Blockchain users who want to own NFTs interact with them through smart contracts and carry out transactions such as purchasing and transferring. Another type of NFT is non-transferable qualified intellectual property. Non-transferable qualified intellectual properties are generally used to determine ownership of individuals [21]. As shown in Figure 2, the content creator first requests an NFT.

Then, the transaction is either approved or rejected according to the smart contract conditions. If the transaction is approved, the NFT is created, and the meta-data of the data is stored on the blockchain. The entire data is stored on IPFS.

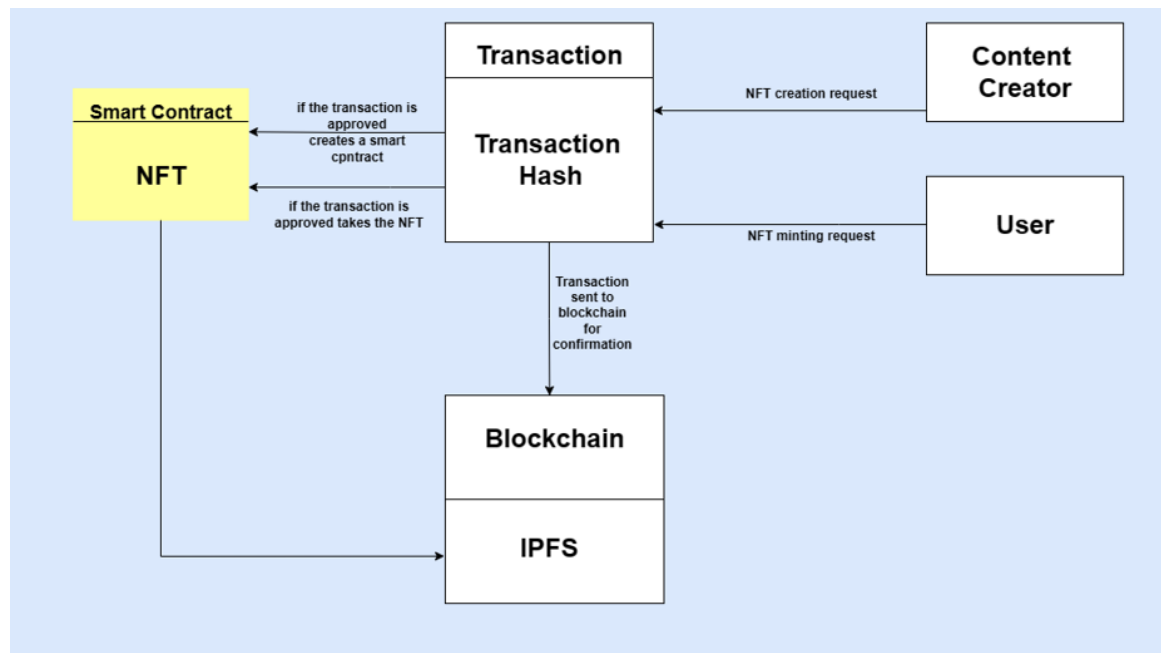


Figure 2. Working principle of NFTs

3. Proposed Method

A certificate is a document that shows a person's qualification in any subject that requires knowledge. Certificates are issued to individuals by authorized institutions or organizations based on their eligibility. In the proposed study, institutions or organizations that issue certificates and users who will acquire certificates require a wallet for blockchain interaction. For this purpose, Ethereum blockchain, which is widely used, is proposed. This study is a proposal and it is aimed to be tested on the test network and presented to user experience in the future.

In this proposed method, smart contracts will be used in the creation of certificates and diplomas. The certificates and diplomas will be created on a blockchain-based smart contract as non-transferable qualified intellectual property. The data of the created NFTs will be stored on the Inter Planetary File System (IPFS). The verification of the ownership of blockchain addresses of individuals and institutions will be carried out in accordance with the Law No. 6698 on the Protection of Personal Data of the Republic of Turkey. Following the use of the aforementioned criteria, institutions or organizations can share their certificates with users on the project website after verifying them on the website.

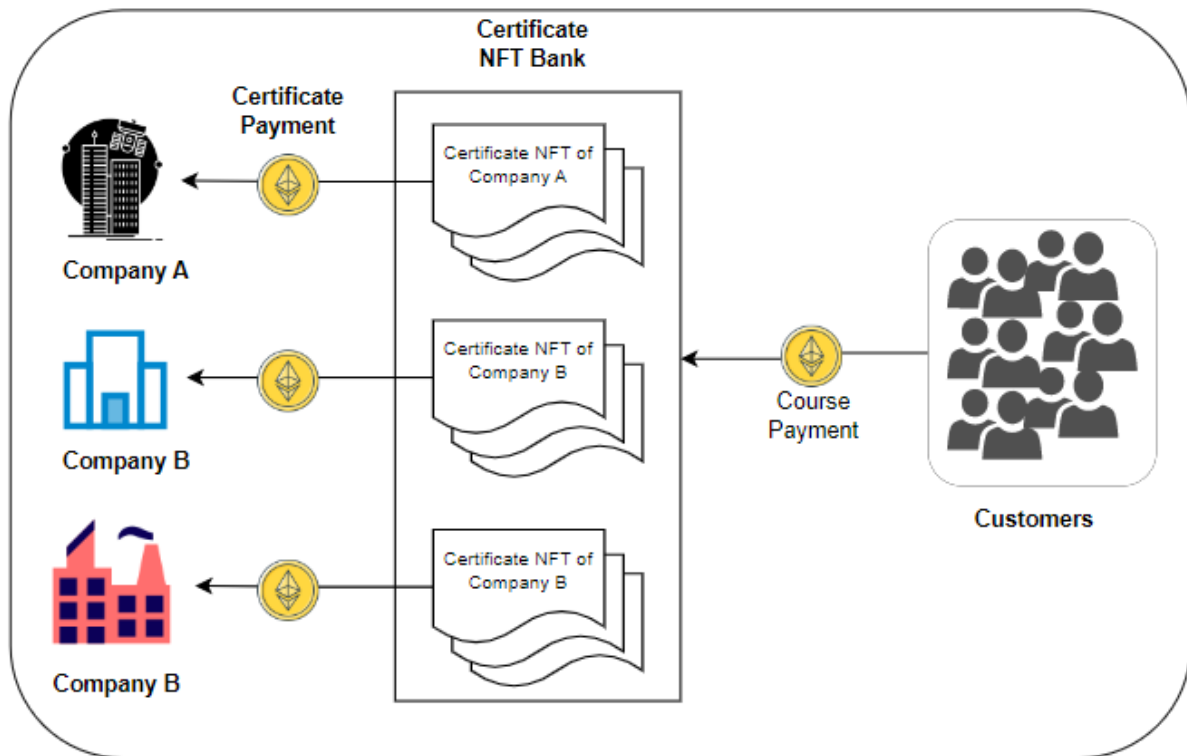


Figure 3. NFT-based certificate generation and sale

As shown in Figure 3, customers are expected to make payment for the course they have registered for. Upon successfully completing the course, NFT-based certificates created by the companies are delivered to the customers. As shown in Figure 4, the proposed system consists of four stages. The initial steps taken by the company that produces NFT certificates are shown in the first stage. The company registers to the system, undergoes identity verification, and gains the right to obtain NFT certificates from the NFT production platform. This enables the company to provide certificates to users who are eligible to receive them. In the second stage, the steps taken by the customer who registers to the system are displayed. The customer registers to the system and undergoes identity verification. After completing the courses created by the companies, the customer becomes eligible to receive an NFT certificate. The third stage involves the creation and distribution of the smart contract. The fourth stage shows the area where external certificates that need to be stored are stored, which is IPFS, and the blockchain that will provide traceability for the certificates. In the proposed method, the stages are planned to be carried out interactively rather than discretely.

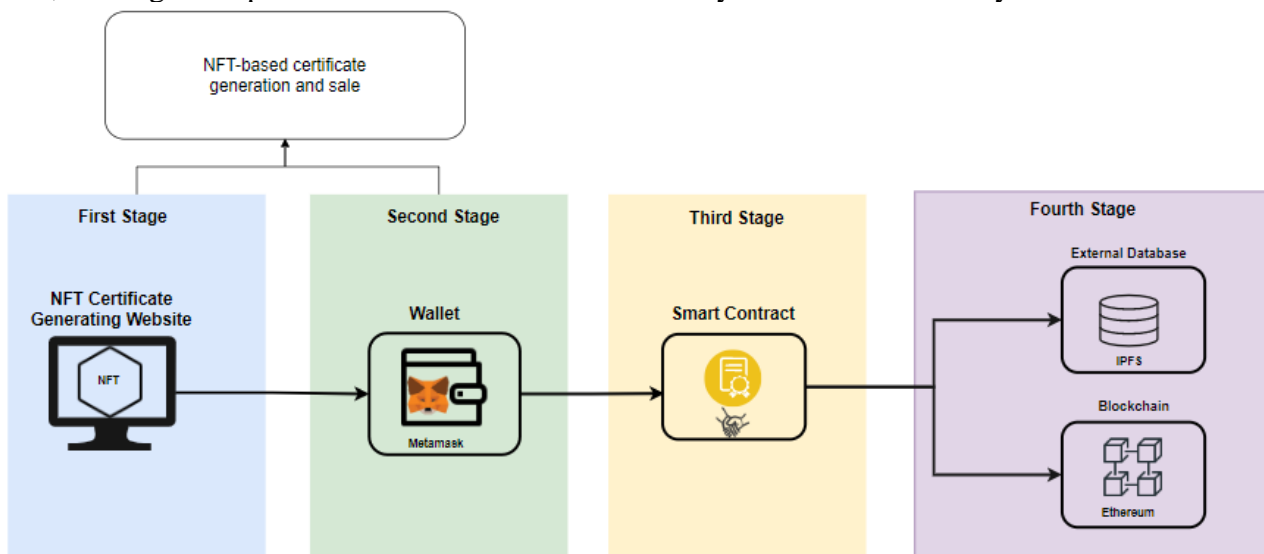


Figure 4. Block diagram of the proposed method

As shown in Figure 5, in the first stage, the company/institution obtains the necessary balance to operate on the Ethereum network and acquires Ether cryptocurrency by creating a wallet on the Ethereum blockchain. Then, it connects to the project-specific website with its Ethereum wallet. By connecting to the website, the company/institution creates its profile and submits it to the project website for verification purposes. After the verification of the company/institution's profile, it becomes ready to produce certificates.

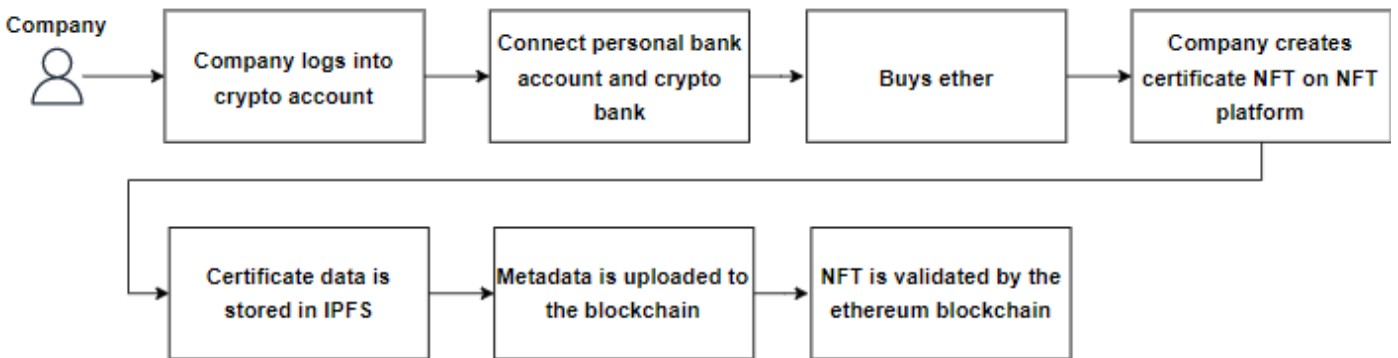


Figure 5. The first stage of the proposed method

As shown in Figure 6, in the second stage, individuals are required to create their own blockchain wallet and interact with the website to verify their identity within the legal framework. Users who have verified their identity can link their wallet to the website and have the right to purchase the certificates they deserve.

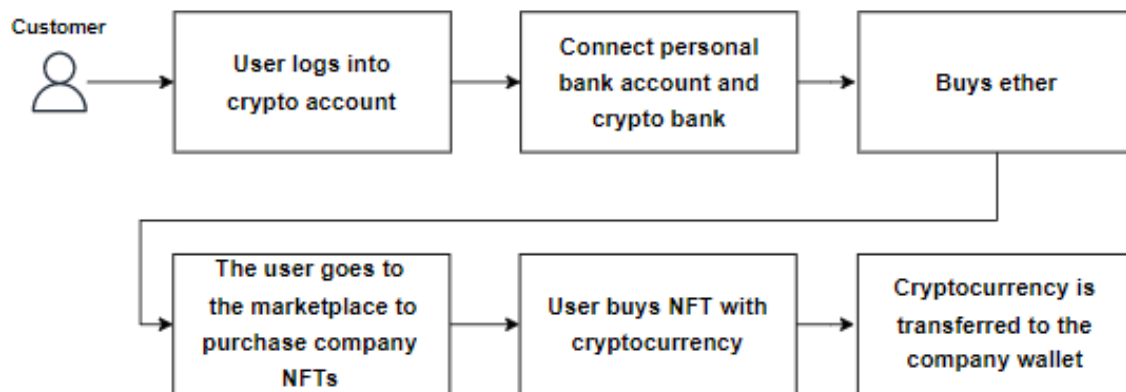


Figure 6. The second stage of the proposed method

As shown in Figure 7, the third stage refers to the smart contract created for the company according to the rules. Here, the transactions made in the first and second stages are executed and consensus is reached. A smart contract is created in accordance with the rules determined by the company, and the transfer of the NFTs to be created is aimed.

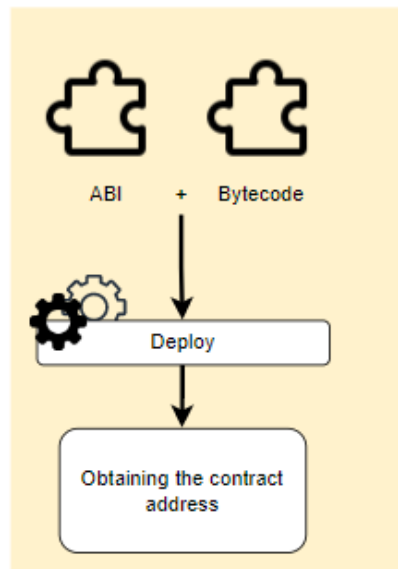


Figure 7. The third stage of the proposed method

As shown in Figure 8, the fourth stage refers to the area where all the meta and other data of the NFTs created in the first stage will be stored. The meta data of the certificates is stored on the blockchain and all the transactions performed on it are tracked, thus controlling the digital movement of the certificates. All versions of the certificates are stored on IPFS, reducing the load on the blockchain and achieving a more efficient system.

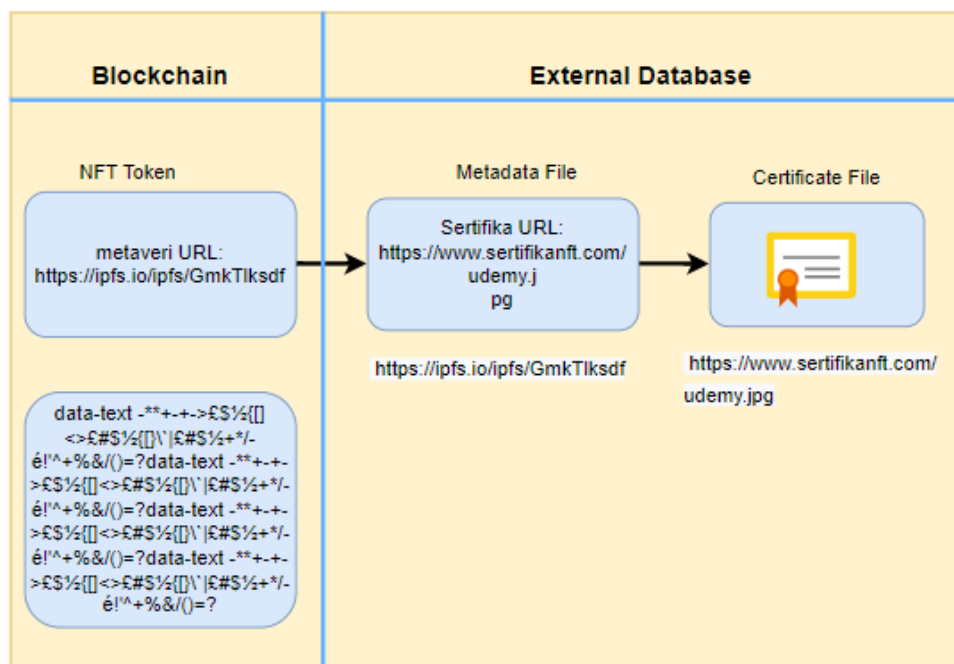


Figure 8. The fourth stage of the proposed method

4. Discussions and Future Work

One of the risks that will be encountered in this proposed study is that diploma/certificate holders lose access to their wallets. In the event of this situation, it is planned to destroy the certificates belonging to the person in the blockchain environment and to issue the same certificates to a new wallet that will be created. Another risky situation is the creation of title deeds similar to the Non-Transferable Intellectual Deed created for certificate/diploma purposes. As a solution to this situation, the website to be created will be subject to authentication of certificate/diploma creators. In addition, the certificate/diploma can only be obtained through the web page. At the same time, people will be able to check the authenticity of their NFTs via the web page.

In future studies, research will be conducted on the optimization and generalization of the fees resulting from the production of NFT-based certificates. It is planned that the system created at the end of the study will

be ready to be used in institutions and organizations. In case the foreseen part is realized successfully, it is planned to take the project to the next level and use the user certificates and diplomas as a validator in official applications.

5. Conclusions

Blockchain technology has become quite popular in today's world with the opportunities it provides. One of these opportunities, NFT, is gaining attention with its evolving structure. In this proposed study, the issue of certificate security, which is one of the problems of the digital world, has been emphasized. The misuse and fraudulent production of increasing certificates have led to the problem of certificate authenticity. The aim of this study is to ensure the security and traceability of certificates in the digital environment using blockchain and NFT technologies. The non-fungible and unique nature of NFTs is seen as a solution to copyright and data security problems of certificates. In addition, NFTs provide tamper-resistant certificates and easy verification. In our future study, we plan to make a real-time application of this proposed method. Fees are charged for transactions performed on the Ethereum blockchain. These fees have not been considered in this study.

Funding

This research is supported by the 1919B012223104 project fund provided by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK).

References

- [1] Gu, Z. Yin, C. Cui, and Y. Li, "Integrated Functional Safety and Security Diagnosis Mechanism of CPS Based on Blockchain," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 15241–15255, 2020, doi: 10.1109/aACCESS.2020.2967453.
- [2] M. Mindas, "Edited by Dariusz Plinta Advanced Industrial Engineering," no. December 2016, 2020.
- [3] Z. Zheng, S. Xie, H. Dai, X. Chen, and H. Wang, "An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends," *Proceedings - 2017 IEEE 6th International Congress on Big Data, BigData Congress 2017*, pp. 557–564, 2017, doi: 10.1109/BigDataCongress.2017.85.
- [4] X. Li, "An evolutionary game-theoretic analysis of enterprise information security investment based on information sharing platform," *Managerial and Decision Economics*, vol. 43, no. 3, pp. 595–606, 2022, doi: 10.1002/mde.3404.
- [5] A. Kurnaz, "A Review on Usage Areas of Blockchain Technology in Architecture," *International Journal of Scientific and Technological Research*, no. June, 2021, doi: 10.7176/jstr/7-04-07.
- [6] G. Karame, M. Huth, C. Vishik, and M. Huth, "An overview of blockchain science and engineering," pp. 1–5, 2020.
- [7] A. Nawawi, I. Makarov, and A. Plastun, "Applications of Blockchain Technology beyond Cryptocurrency," *Finance Research Letters*, vol. 11, no. 2, pp. 1–6, 2019.
- [8] A. Savelyev, "Copyright in the blockchain era: Promises and challenges," *Computer Law and Security Review*, vol. 34, no. 3, pp. 550–561, 2018, doi: 10.1016/j.clsr.2017.11.008.
- [9] M. Finck and V. Moscon, "Copyright Law on Blockchains: Between New Forms of Rights Administration and Digital Rights Management 2.0," *IIC International Review of Intellectual Property and Competition Law*, vol. 50, no. 1, pp. 77–108, 2019, doi: 10.1007/s40319-018-00776-8.
- [10] Sina Osivand, "Smart collectibles; use case of NFT tokens," *Open Access Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 024–031, 2021, doi: 10.53022/oarjet.2021.1.2.0113.
- [11] G. Grolleau, T. Lakhal, and N. Mzoughi, "An introduction to the economics of fake degrees," *Journal of Economic Issues*, vol. 42, no. 3, pp. 673–694, 2008, doi: 10.1080/00213624.2008.11507173.
- [12] S. Bian, G. Shen, Z. Huang, Y. Yang, J. Li, and X. Zhang, "PABC: A Patent Application System Based on Blockchain," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 4199–4210, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3048004.
- [13] B. Singhal, G. Dhameja, and P. S. Panda, *Beginning Blockchain*. 2018. doi: 10.1007/978-1-4842-3444-0.
- [14] S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System," <https://bitcoin.org/tr/>, vol. 15, no. 4, pp. 580–596, 2008.

- [15] M. Baygin, O. Yaman, N. Baygin, and M. Karakose, "A blockchain-based approach to smart cargo transportation using UHF RFID," *Expert Syst Appl*, vol. 188, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.eswa.2021.116030.
- [16] T. Tuncer and S. Dogan, "Quantum-Dot Cellular Automata based Fragile Watermarking Method for Tamper Detection using Chaos," *International Journal of Information Technology and Computer Science*, vol. 10, no. 12, pp. 27–32, Dec. 2018, doi: 10.5815/ijitcs.2018.12.04.
- [17] T. TUNCER, "Analysis of CRT-based Watermarking Technique for Authentication of Multimedia Content," *International Journal of Computer Network and Information Security*, vol. 10, no. 6, pp. 60–67, Jun. 2018, doi: 10.5815/ijcnis.2018.06.06.
- [18] H. Yetis, M. Karakose, and N. Baygin, "Blockchain-based mass customization framework using optimized production management for industry 4.0 applications," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 36, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.jestch.2022.101151.
- [19] O. Yaman, T. Tuncer, and F. Ertam, "Automated book location and classification method using RFID tags for smart libraries," *Microprocess Microsyst*, vol. 87, p. 104388, 2021.
- [20] D. Ghelani, "What is Non-fungible token (NFT)? A short discussion about NFT Terms used in NFT," *Authorea*, 2022.
- [21] B. Vitalik, "Soulbound," 2022. <https://vitalik.ca/general/2022/01/26/soulbound.html>



Research Article

Machine Learning-Based Automatic Emotion Classification Using EEG Signals

Hakan Köksal¹ , Mehmet Baygın² 

¹ Department of Advanced Technologies, Ardahan University, 75002 Ardahan, Türkiye

² Department of Computer Engineering, Erzurum Technical University, 25000 Erzurum, Türkiye

* Correspondence: hknpyr@hotmail.com

Received: 8 May 2023; Accepted: 7 June 2023; Published: 30 June 2023

Abstract: Today, a wide variety of studies are carried out on the automatic interpretation of brain signals. At the beginning of these studies are emotion recognition and classification. Emotions play an active role in individuals' relations with the outside world, their actions and decisions. Therefore, emotion recognition is critical in human-computer interaction. It is a fact that various activities develop in the brain in the emotional changes of individuals. At this point, electroencephalogram (EEG) signals provide important clues. In this study, an approach using local binary patterns and statistical moment methods is proposed for automatic emotion recognition and classification. In this model, tunable Q wavelet transform method is used for signal separation and feature extraction is performed from both the raw signal and the subbands of this signal. ReliefF, a well-known method in the literature, was used in the feature selection phase of the model, and the most significant features were selected with this method. In the classification phase of the model, support vector machines, a classical classifier, were used. In this study, which exemplifies a basic level machine learning model, the DREAMER dataset is tested to validate the proposed model, and the k-fold cross-validation strategy is applied as a validation technique. In this study, in which arousal, valence and dominance states were examined, binary classification was performed.

Keywords: EEG, machine learning, emotion recognition, classification

Araştırma Makalesi

EEG Sinyalleri Kullanılarak Makine Öğrenmesi Tabanlı Otomatik Duygu Sınıflandırma

Öz: Günümüzde beyin sinyallerinin otomatik yorumlanması konusunda çok çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmaların başında ise duygu tanıma ve sınıflandırma gelmektedir. Duygular, bireylerin dış dünyayla olan ilişkilerinde, eylemlerinde ve kararlarında etkin rol oynamaktadır. Bu nedenle duygu tanıma insan-bilgisayar etkileşiminde kritik öneme sahiptir. Bireylerin duygusal değişimlerinde beyinde çeşitli aktivitelerin geliştiği bir gerçektir. Bu noktada, elektroansefalogram (EEG) sinyalleri önemli ipuçları sağlamaktadır. Bu çalışmada, otomatik duygu tanıma ve sınıflandırma için yerel ikili örüntüler ve istatistiksel moment yöntemlerini kullanan bir yaklaşım önerilmiştir. Bu modelde, sinyal ayrıştırma için ayarlanabilir Q dalgacık dönüşümü yöntemi kullanılmış olup hem ham sinyalden hem de bu sinyalin alt bantlarından özellik çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Modelin özellik seçim aşamasında literatürde iyi bilinen bir yöntem olan ReliefF kullanılmış olup, en anlamlı özellikler bu yöntem ile seçilmiştir. Modelin sınıflandırma fazında ise klasik bir sınıflandırıcı olan destek vektör makineleri kullanılmıştır. Temel düzeyde bir makine öğrenmesi modelini örnekleyen bu çalışmada, önerilen modeli doğrulamak DREAMER veri seti test edilmiş olup doğrulama tekniği olarak k-katlamalı çapraz doğrulama stratejisi uygulanmıştır. Uyarılma, değerlik ve baskınlık durumlarının incelendiği bu çalışmada, ikili sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: EEG, makine öğrenmesi, duygu tanıma, sınıflandırma

Citation: H. Köksal and M. Baygın, "Machine Learning-Based Automatic Emotion Classification Using EEG Signals", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 1, no. 1, pp. 26-40, Jun 2023, doi: 10.5281/zenodo.8074861

1. Giriş

Duygu insanoğlunun varoluşundan beri hislerini yansıtan ve bireylerin içsel/tepkisel durumlarını ifade eden ruh halleridir [1]. İnsanların karar verme mekanizmasında duygular oldukça büyük bir etkiye sahiptir [2]. Duygular sosyalleşerek ifade edilmekte ve kültürden kültüre farklılık göstermektedir [3]. İnsani bir durum olan duyguları analiz edebilmek için literatürde çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler arasında genellikle ses, konuşma, vücut hareketleri ve yüz ifadeleri bulunmaktadır. Bu durumlara ek olarak elektromiyogram (EMG), elektroansefalografi (EEG) ve elektrookülogram (EOG) gibi fizyolojik sinyaller de kullanılarak duygu analizi yapılabilmektedir [4]. Bu tür sinyaller duyguların güvenilir ve doğru bir şekilde analiz edilmesini sağlamaktadır. Duygu tanıma için kullanılan fizyolojik sinyaller arasında literatürde en sık kullanılan yaklaşım EEG'dir. EEG sinyallerinden duygu tanıma işlemi, bir bireyin insan-makine etkileşiminde önemli bir faktör olarak kabul edilen içsel durumunun doğrudan değerlendirilmesi olarak düşünülmektedir [5].

Tıp alanında çalışan profesyoneller ve psikiyatristler, hastalarının duygularını anlamaları ve doğru bir şekilde teşhis etmeleri için çalışmaktadır. Bu, duygusal tanımlamaların yapılabilmesi için önemli bir dönüm noktasıdır ve hastalarla ilgili sorunların çözümünde büyük bir rol oynamaktadır. Günümüzde, duyguların otomatik olarak tespiti için fizyolojik ve tıbbi görüntü sinyalleri kullanılmaktadır. Manyetik rezonans görüntüleme (MRI) gibi yöntemler duygu sınıflandırmada tercih edilen metotlardan biridir. Ancak, MRI kullanarak duygu sınıflandırma teknikleri zaman ve maliyet açısından oldukça pahalıdır [6]. Duyguların otomatik olarak tespit edilebilmesi için EEG sinyalleri kullanılmaktadır, çünkü duyguların tanımlanması zaman alan bir süreçtir. Bu nedenle, güvenilir, doğru ve sağlam sonuçlar elde etmek amacıyla bir otomatik duygu tanımlama sistemi geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, DREAMER veri tabanı ve makine öğrenme modeli, doğru bir sınıflandırma sistemi elde etmek için tercih edilmiştir. Genellikle görüntü işleme uygulamalarında kullanılan yerel ikili örüntü yöntemi bu çalışmada bir boyutlu sinyalden özellik çıkarma için kullanılmıştır. Ayrıca istatistiksel moment yaklaşımı kullanılarak da özellik çıkarma işlemi gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelin performansını arttırmak için ayarlanabilir dalgacık dönüşümü yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile sinyal alt bantlarına ayrıştırılmış ve her alt banttaki özellik çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Modelin özellik seçim aşamasında ReliefF yöntemi tercih edilmiş olup, sınıflandırma fazında ise destek vektör makineleri kullanılmıştır. Bu sınıflandırma yaklaşımında k-katlamalı çapraz doğrulama tekniği uygulanmış olup k değeri 10 olarak belirlenmiştir.

1.1. Literatür Taraması

Otomatik duygu tanıma ve sınıflandırma literatürde sıklıkla çalışılan konuların başında gelmektedir. Bu kapsamda, EEG tabanlı otomatik duygu tanıma ve sınıflandırma için literatürde gerçekleştirilen bazı çalışmalar Tablo 1'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo1. EEG sinyalleri kullanılarak duygu sınıflandırma üzerine gerçekleştirilen bazı çalışmalar

Yazar(lar)	Yıl	Yöntem	Veri Seti	Kanal Sayısı	Sonuç(lar)
Xiao et al.[7]	2022	Dört boyutlu attention tabanlı sinir ağı, Evrişimli sinir ağı	SEED	62	Doğ.=%96.10
Li et al. [8]	2022	Çok ölçekli residual ağ, ikili sınıflandırma	SEED	62	Doğ.=%87.05
Zhong et al. [9]	2022	Hibrit evrişimli tekrarlayan sinir ağı	SEED	62	Doğ.=%95.33
Aguinaga et al. [10]	2022	Çok sınıflı genetik programlama, evrişimli sinir ağı	BED	14	Doğ.=%92.10
Zhang et al. [11]	2022	Özel tasarım evrişimli sinir ağı	DREAMER	14	Doğ.=%84.16 Değerlik
Yuvara et al. [12]	2023	Regresyon ağacı	DREAMER	14	Doğ.=%85.28 Doğ.=%92.02
Liu et al. [2]	2023	Ön eğitilmiş evrişimli kapsül ağı	DEAP	32	Doğ.=%95.04 Değerlik
Wei et al. [13]	2023	Dönüşüm tabanlı evrişimli sinir ağı	DEAP	32	Doğ.=%93.89 Uyarılma
					Doğ.=%98.81 Değerlik
					Doğ.=%98.76

Tablo 1'den görüleceği üzere literatürde çok çeşitli açık erişimli veri setleri bulunmaktadır. Bu veri setleri ise genellikle evrişimli sinir ağı yöntemleri ile test edilmiştir. Derin ağı modelleri olarak isimlendirilen evrişimli sinir ağı yaklaşımları oldukça kompleks yaklaşımlardır. Bu yöntemlerin elde ettikleri başarı oranları yüksek olmasına rağmen hesapsal karmaşıklıkları oldukça yüksektir. Bu nedenle literatürdeki bu yöntemlere alternatif olarak hafif sıklet yöntemlerin önerilmesi gerekmektedir.

1.2. Motivasyon

Günümüzde beyin sinyallerinin otomatik olarak yorumlanması üzerine çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmaların çoğunluğu beyinle ilişkili nörolojik hastalıkların tespiti ve tanısı üzerinedir. Fakat gelişen teknolojiye paralel olarak beyin sinyallerini toplayabilen cihazlarda da çeşitli gelişmeler yaşanmıştır. Özellikle mobil EEG sinyal toplama cihazlarının yaygınlaşması ile EEG sinyalleri hastalık tanısından ziyade daha farklı alanlarda da kullanılabilir hale gelmiştir. Bu noktada duygu tanıma ve sınıflandırma literatürde EEG sinyalleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmaların başında gelmiştir.

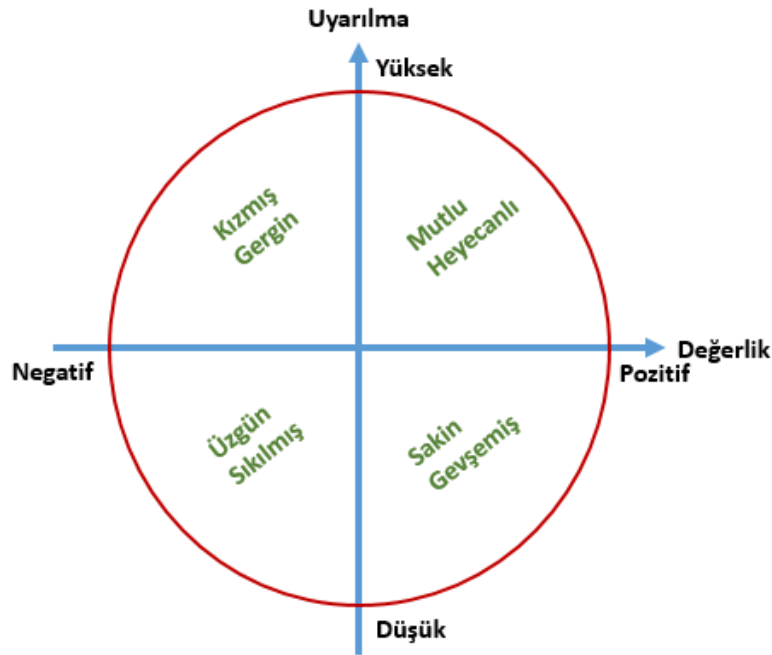
İnsan-bilgisayar etkileşiminde kritik bir öneme sahip olan duygu tanıma literatürde oldukça önemli bir problemdir. Bu amaçla EEG sinyalleri, duygusal değişimler sırasında beyindeki çeşitli aktiviteleri gösterebilmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada, otomatik duygu tanıma ve sınıflandırma için bir makine öğrenmesi yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yöntemde sinyal ayırıştırma, bir boyutlu özellik çıkarma, özellik seçme ve sınıflandırma fazları uygulanmıştır. Temel düzeyde bir makine öğrenmesi yöntemi içeren bu yaklaşımı test etmek için literatürde açık erişimli olarak sunulan DREAMER veri seti kullanılmış, yine bu veri seti içerisinde yer alan uyarılma, değerlik ve baskınlık sinyalleri kanal bazlı test edilmiştir. Literatürdeki çalışmalar genellikle evrişimli sinir ağı tabanlıdır. Bu nedenle, ilgili çalışmaların hesapsal karmaşıklıkları oldukça yüksektir. Bu çalışmada ise literatürün aksine hesapsal karmaşıklığı düşük yöntemler tercih edilmiştir. Hafif sıklet olarak adlandırılan bu yaklaşım ile duygu tanıma ve sınıflandırma konusundaki araştırmalara katkı sağlanması amaçlanmıştır.

1.3. Organizasyon

Bu çalışmanın, ilk bölümünde literatürdeki EEG tabanlı duygu sınıflandırma modelleri incelenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde duygu sınıflandırma için kullanılan bazı parametreler incelenmiştir. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan veri seti incelenmiş olup, dördüncü bölümde önerilen yöntemin detayları paylaşılmıştır. Çalışmanın beşinci bölümünde deneysel sonuçlar ve tartışma verilmiştir. Makalenin altıncı ve son bölümünde ise sonuçlar ile gelecek çalışmalar sunulmuştur.

2. EEG Tabanlı Duygu Tanıma

Son yıllarda, EEG sinyalleri temelli duygu tanıma konusu sıkça incelenen bir konudur. Psikologlar, duyguları ayrık ve kategorik yaklaşımlar olarak ikiye ayırmaktadır [14]. Ayrık model, öfke, şaşkınlık, mutluluk, korku, tiksinti ve üzüntü gibi altı farklı duygusal durumdan oluşmaktadır [15]. Kategorik model ise, duyguların uyarılma, değerlik ve baskınlık düzlemlerindeki boyutlarına göre ifade edilmektedir [16]. Bu durumun görsel ifadesi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Değerlik-uyarılma duygu modeli

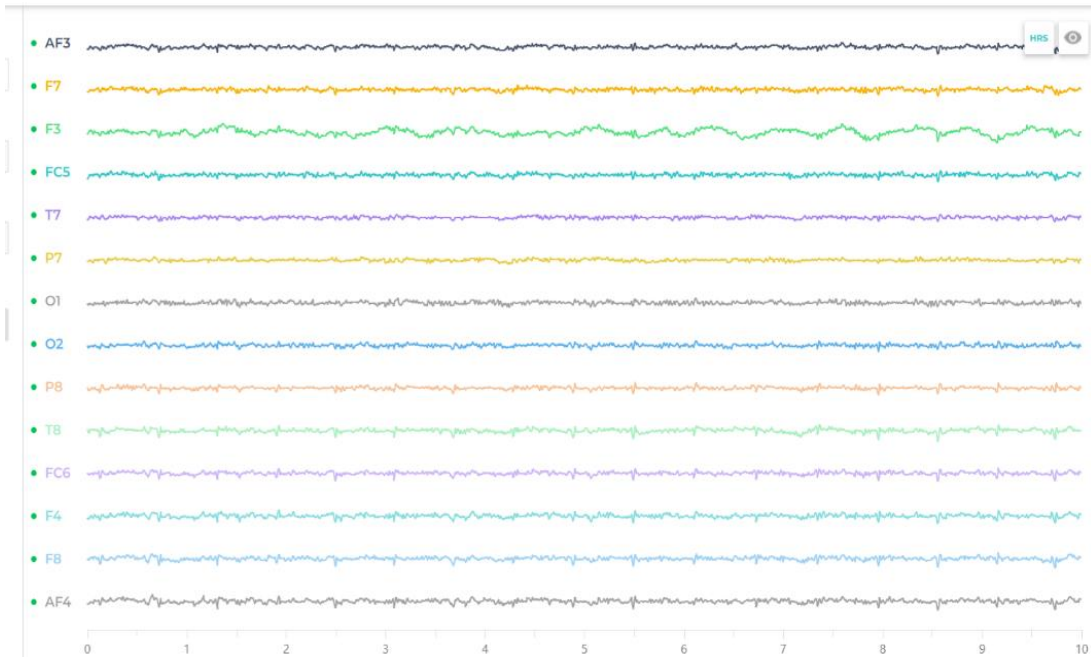
Şekil 1'den görüleceği üzere duygu tanıma iki eksen üzerinde ifade edilebilmektedir. Bunlar sırasıyla uyarılma ve değerliktir. Ayrıca bu eksenler yüksek/düşük ve pozitif/negatif olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Kategorik model olarak ifade edilen bu yaklaşım ile kişilerden alınan sinyaller gruplandırılabilir ve bireyin duygu durumu tespit edilebilmektedir. Bu model sadece EEG sinyalleri için değil, başka veri türleri içinde kullanılabilir. Temel olarak katılımcıların duygu durumlarını tetikleyerek toplanan verilerin yine bir anket kullanılarak etiketlenmesi prensibine dayanmaktadır. Öz değerlendirme mankeni (Self-Assessment Manikin-SAM) olarak adlandırılan bu yöntem ile katılımcıların mevcut duygu durumlarını ölçülebilmektedir [17].

3. Materyal

Bu çalışmada, literatürde açık erişimli olarak sunulan DREAMER [18] veri seti kullanılmıştır. Veri seti, Emotiv EPOC cihazı kullanılarak 14 erkek ve 9 kadından toplanan EKG ve EEG sinyallerini içermektedir. Katılımcılara 18 video izletilerek EEG sinyalleri kaydedilmiş ve duygusal durumlarını tespit edebilmek için değerlik, uyarılma ve baskın duygu durumları derecelendirilmiştir. Bu derecelendirmeler, 1-5 arasında değerlendirilmiş ve 3. seviye dışındaki diğer seviyeler düşük veya yüksek olarak sınıflandırılmıştır. EEG sinyalleri 128 Hz örnekleme hızında, 14 kanal üzerinden toplanmıştır. DREAMER veri setinin özellikleri Tablo 2'de sunulmuştur. Ek olarak, DREAMER veri seti için bir katılımcıya ait örnek EEG sinyali (uyarılma eksenini için) Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 2. DREAMER veri tabanının teknik özellikleri [18]

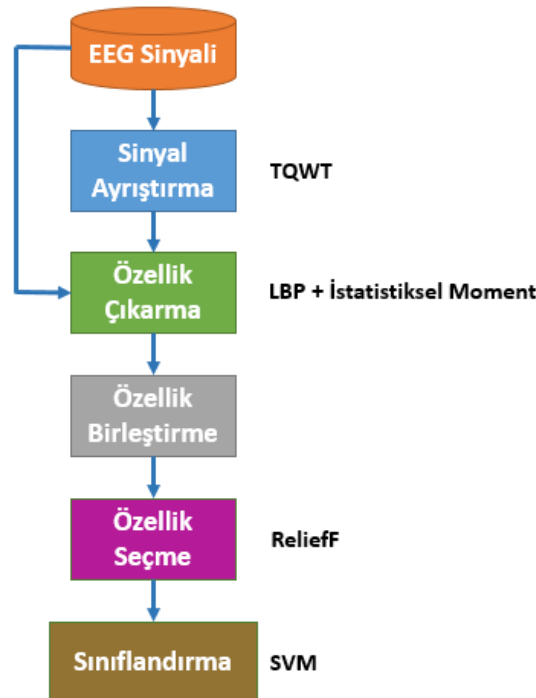
Özellikler	Değer
Sinyal Türü	EEG
Cihaz	Emotiv EPOC
Kanal Sayısı	14
Katılımcı Sayısı	23 (9 Kadın ve 14 Erkek)
Yaş Ortalaması	26.7
Kanallar	AF3, F3, F7, FC5, T7, T8, P7, O1, O2, P8, FC6, AF4, F4 ve F8
Uyaran Sayısı	18
Frekans	128 Hz
Sınıflar	Uyarılma, Değerlik ve Baskınlık



Şekil 2. Örnek bir katılımcı için uyarılma eksenine ait EEG sinyali

4. Önerilen Yöntem

Bu çalışmada, otomatik duygu sınıflandırma için hafif sıklet bir makine öğrenmesi yaklaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilen model temel olarak sinyal ayrıştırma, özellik çıkarma, özellik seçme ve sınıflandırma fazlarından meydana gelmektedir. Bu noktada sinyal ayrıştırma için ayarlanabilir dalgacık dönüşümü (TQWT) kullanılmıştır. Bu yöntem ile ham sinyal alt bantlarına ayrıştırılmaktadır. Modelin ikinci aşamasında özellik çıkarımı işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu fazda yerel ikili örüntüler ve istatistiksel moment yaklaşımları kullanılmaktadır. Uygulamanın üçüncü aşamasında en anlamlı özellikler ReliefF yöntemi ile seçilmekte ve seçilen özellikler destek vektör makinesi kullanılarak sınıflandırılmaktadır. Bu araştırmada geliştirilen modeli özetleyen bir blok diyagram Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 3. Çalışmada önerilen duygu sınıflandırma modeli

Şekil 3'ten görülebileceği üzere çalışma kapsamında önerilen model giriş olarak DREAMER EEG veri setini giriş olarak almaktadır. Daha sonrasında ham EEG sinyali özellik çıkarma modülüne giriş olarak verilmektedir. Ek olarak, TQWT yöntemi kullanılarak sinyal alt bantlarına ayrıştırılmakta ve bu alt bantlarda yine özellik çıkarma modülüne giriş olarak verilmektedir. Buradaki temel amaç hem ham sinyalden hem de alt bantlardan özellik çıkarmaktır. Bu sayede özellik vektörünün boyutunun genişletilmesi amaçlanmaktadır. Uyarılma, değerlik ve baskınlık sinyalleri için elde edilen özellik vektörleri literatürde iyi bilinen bir yöntem olan ReliefF algoritmasına giriş olarak verilmektedir. Bu aşamada sınıflandırma işlemi için en anlamlı özellikler seçilmekte ve bu sayede özellik vektörünün boyutu indirgenmektedir. Bu işlem, sınıflandırma algoritmasının performansını da arttırmaktadır. Bu sayede algoritmanın daha hızlı ve yüksek doğruluklu işlem yapabilmesi sağlanmaktadır. Modelin son fazında ise sığ bir sınıflandırıcı olan destek vektör makineleri kullanılmıştır. Bu aşamada, seçilen en anlamlı özellikler etiket değerlerine göre sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırma fazında 10-katlamalı çapraz doğrulama stratejisi uygulanmıştır. Bu sayede genel ve yüksek güvenilirliğe sahip sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir. Test işlemleri uyarılma, değerlik ve baskınlık sinyallerinin her biri için gerçekleştirilmiş ve bu eksenler için sonuçlar hesaplanmıştır. Bu çalışmada geliştirilen modelin detayları alt bölümler halinde verilmiştir.

4.1. TQWT Tabanlı Sinyal Ayırıştırma

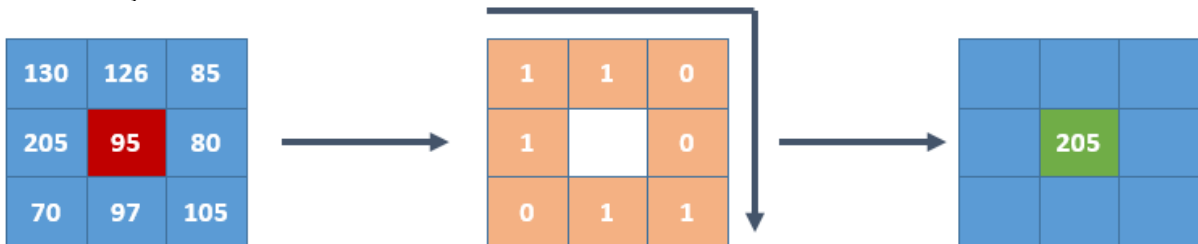
Geliştirilen modelin ilk aşaması sinyal ayırıştırma işlemidir. Sinyal ayırıştırma işleminde ham EEG sinyali yüksek ve düşük frekanslı bileşenlerine ayrılmaktadır. Bu çalışmada düşük frekanslı bileşenler kullanılmıştır. Çünkü düşük frekanslı bileşenler genellikle sinyalin daha düzgün ve yavaş değişen kısımlarını içermektedir. Yüksek frekanslı bileşenler ise yine aynı sinyalin daha hızlı ve ani değişen bölümlerini kapsamaktadır. Bu nedenle geliştirilen model de ham EEG sinyalinin düşük frekanslı bileşenleri kullanılmıştır. Modelin sinyal ayırıştırma adımında TQWT [19] yöntemi tercih edilmiştir. TQWT yöntemi sinyali farklı frekans bileşenlerine ayırmaktadır. Bu yöntem sabit olmayan sinyallerin analizinde etkili bir performans göstermektedir. Klasik zaman-frekans analiz yöntemlerine göre ayarlanabilir frekans ayırma özelliğine sahiptir. Dalgacık dönüşümünün gelişmiş bir versiyonu olan bu yaklaşımda dalgacık seviyeleri ayarlanabilmektedir ve bu nedenle tercih edilmiştir. Özellikle biyomedikal sinyal işleme alanında sıklıkla kullanılan bu yöntem klasik dalgacık dönüşümü yöntemlerine göre daha etkili ve esnek bir yapı sunmaktadır.

4.2. Özellik Çıkarma

Geliştirilen modelde iki yöntem kullanılarak özellik çıkarımı yapılmıştır. Bunlar sırasıyla yerel ikili örüntüler (LBP) ve istatistiksel moment yaklaşımlarıdır. Bu yöntemlere ait detaylar alt bölümlerde verildiği gibidir.

4.2.1. Yerel İkili Örüntüler

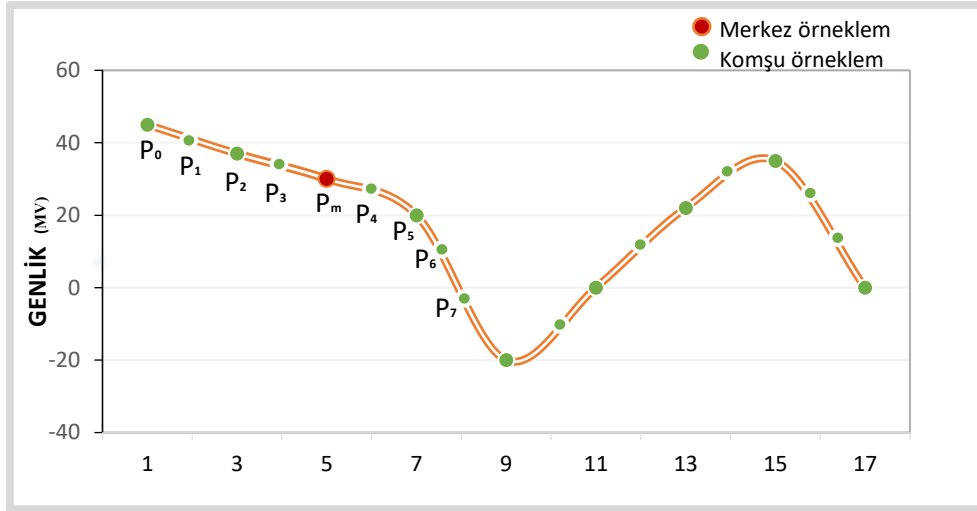
Yerel ikili örüntü temel olarak bir görüntü işleme tekniğidir ve merkez pikselin komşuları ile karşılaştırılması prensibine dayanmaktadır. Bu yaklaşımda görüntü belirli parçalara bölünmekte ve merkez pikselin etrafındaki diğer piksel değerleri merkez ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma işlemi sonucunda 0 ve 1'lerden meydana gelen ikilik tabanda bir değer elde edilmektedir. Son olarak ikilik tabandaki değer onluk sisteme dönüştürülmekte ve yeni merkez piksel değeri belirlenmektedir. Bu işlemi özetleyen bir diyagram Şekil 4'te verilmiştir.



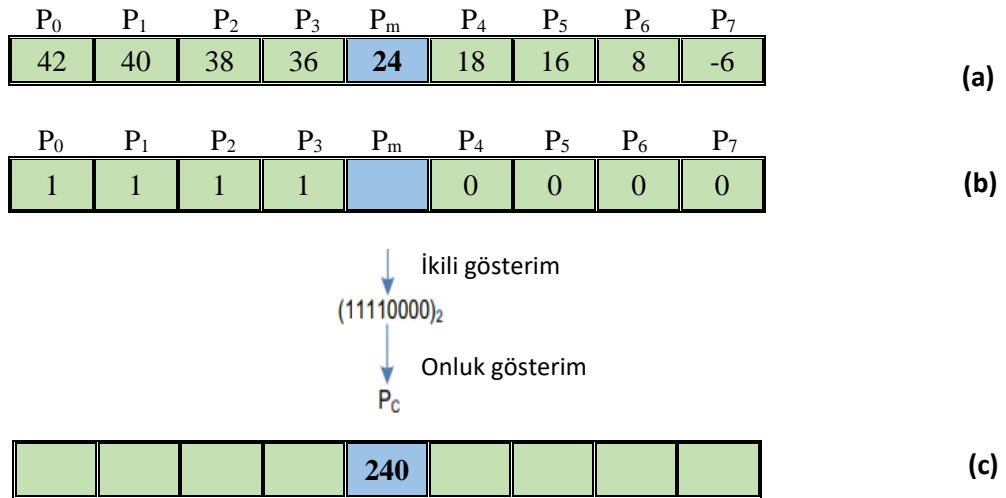
Şekil 4. Görüntü işleme için yerel ikili örüntü yaklaşımı

Şekil 4'te verilen yaklaşım incelendiğinde görüntünün temel olarak 3x3 boyutlarında parçalara bölündüğü ve merkez pikselin her bir komşu piksel ile karşılaştırıldığı görülmektedir. Benzer işlem EEG

sinyali içinde geçerlidir. EEG sinyallerinde ise sinyal segmenti 9 uzunluğunda örtüşen bloklara bölünmektedir. Daha sonra bu blok 3x3 matris boyutlarına dönüştürülmekte ve Şekil 4'te verilen adımlar benzer şekilde bu değerlere uygulanmaktadır. Elde edilen LBP değeri bir harita matrisinde tutulmakta ve son olarak bu harita matrisinin histogramı çıkarılmaktadır. Bu özellik çıkarım aşamasında elde edilen özellik sayısı 256 (2^8) adettir. Bu işlemin adımlarını özetleyen bir blok diyagram Şekil 5 ve 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Örnek bir EEG sinyaline LBP işleminin uygulanması



Şekil 6. (a) Örnek sinyalin değerleri, (b) Karşılaştırma işlemi ve 8 bitlik ikilik gösterime sahip komşu örnekler ve (c) Ondalık değer

4.2.2. İstatistiksel Moment

Bu çalışmada kullanılan bir diğer özellik çıkarım işlemi istatistiksel momenttir. Bu işlemde sinyale ait lineer ve lineer olmayan özellikler çıkarılmaktadır. Bu işlemde 40 adet özellik elde edilmektedir. Özellik çıkarma işlemi ham sinyale ve alt bantlara uygulanmaktadır. Bu aşamada sinyalin maksimum, minimum, medyan, varyans, standart sapma, ortalama, entropi, kurtosis gibi değerleri hesaplanmaktadır. Bu değerleri hesaplamak için istatistiksel momentin matematiksel denklemleri aşağıda ifade edilmiştir [20].

$$f_1 = \min(x) \quad (1)$$

$$f_2 = \max(x) \quad (2)$$

$$f_3 = \frac{\sum x}{n}, \quad x = \text{sinyal} \quad (3)$$

$$f_4 = \frac{\sum(x - f_1)^2}{n - 1} \quad (4)$$

$$f_5 = \left\{ \frac{(n + 1)}{2} \right\} \quad (5)$$

$$f_6 = \sqrt{\frac{\sum(x - f_1)^2}{n - 1}} \quad (6)$$

$$f_7 = - \sum_i x_i^2 \log(x_i^2) \quad (8)$$

$$f_8 = |x_i| \leq p + \sum_i \min(x_i^2, p^2), \quad p = \text{threshold} \quad (7)$$

$$f_9 = \sum_i \log(x_i^2) \quad (9)$$

$$f_{10} = \frac{E(y - f_{10})^4}{(f_{11})^4} \quad (10)$$

$$f_{11} = \frac{E(x - f_1)^4}{(f_2)^4} \quad (11)$$

$$f_{12} = \frac{E(y - f_{10})^3}{(f_{11})^3} \quad (12)$$

$$f_{13} = \frac{E(x - f_1)^3}{(f_2)^3} \quad (13)$$

Yukarıda belirtilen denklemlerde, x sinyali ifade ederken, y ise sinyalin mutlak değerini ifade etmektedir. f_1, f_2, f_3, f_4, f_5 ve f_6 sırasıyla sinyalin minimumunu, maksimumunu, ortalamasını, varyansını, ortancasını ve standart sapmasını. f_7, f_8 ve f_9 sırasıyla Shannon, sure ve log enerji entropilerini hesaplamaktadır. f_{10} ve f_{11} kurtosis sürecini, f_{12} ve f_{13} skewness değerlerini temsil etmektedir.

4.3. Özellik Birleştirme

Geliştirilen modelin bu aşamasında yerel ikili örüntü ve istatistiksel moment adımlarından elde edilen özellikler birleştirilmekte ve yeni bir özellik vektörü elde edilmektedir. Temel olarak LBP yönteminden 256 özellik elde edilmektedir. Ek olarak, istatistiksel moment işleminden ise 40 özellik sağlanmaktadır. Bu sayede her bir EEG sinyalinden 296 adet özellik çıkarılmaktadır. Bu noktada, bölüm başında da belirtildiği üzere hem ham sinyalden hem de alt bantlardan özellik çıkarım işlemi gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen modelde kullanılan sinyal ayrıştırma işlemi ile 14 alt bant elde edilmektedir. Bu işlemlerin neticesinde her bir EEG sinyalinden 4440 (1x296+14x296) boyutunda özellik vektörü sağlanmaktadır.

4.4. Özellik Seçme

Modelin bu fazında özellik vektörünün indirgenmesi sağlanmıştır. Bu aşamada sınıflandırma sonucu üzerinde anlamsız etkiye sahip olan özellikler elimine edilmiştir. Başka bir deyişle, en anlamlı özellikler seçilmiştir. Bu işlemde literatürde iyi bilinen bir yöntem olan ReliefF yaklaşımı tercih edilmiştir. ReliefF algoritması özellik vektöründeki her bir özellik için bir ağırlık değeri hesaplamaktadır. Bu değerler negatif veya pozitif olabilmektedir. Negatif değerler anlamsız özellikleri temsil ederken, pozitif ağırlığa sahip özellikler ise anlamlı olarak nitelendirilebilecek özelliklerdir. Algoritmanın bu aşamasında en yüksek ağırlığa sahip ilk 1000 özellik seçilmiş ve sınıflandırma fazına bu indirgenmiş özellik vektörü giriş olarak verilmiştir.

4.5. Sınıflandırma

Geliştirilen uygulamanın son aşaması sınıflandırmadır. Bu aşamada klasik ve sık bir sınıflandırıcı olan destek vektör makineleri kullanılmıştır. Ayrıca doğrulama tekniği olarak k-katlamalı çapraz doğrulama işlemi uygulanmış olup, bu noktada k değeri 10 olarak seçilmiştir.

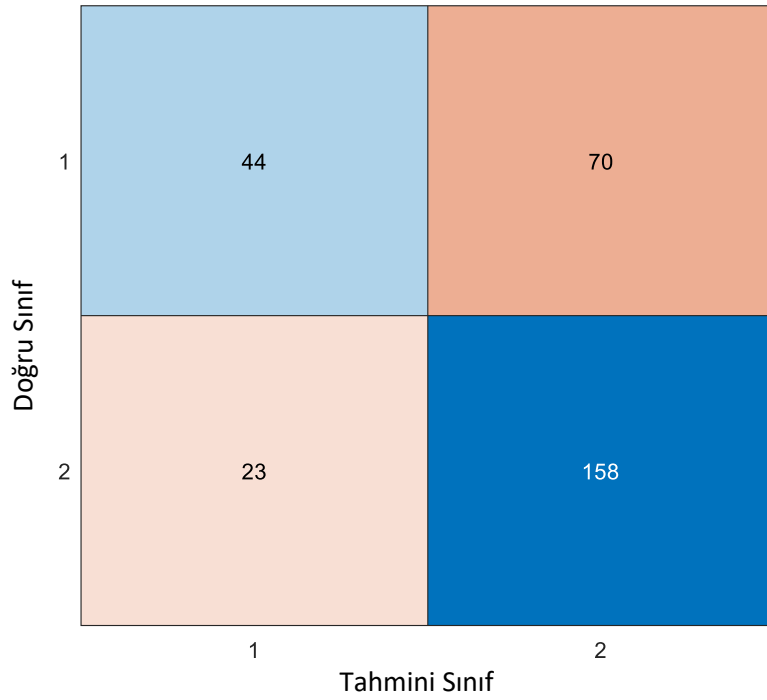
5. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Gerçekleştirilen bu çalışmada, otomatik duygu tanıma ve sınıflandırma için temel düzeyde bir makine öğrenmesi yaklaşımı geliştirilmiştir. Sinyal ayrıştırma, özellik çıkarma, özellik seçme ve sınıflandırma aşamalarından meydana gelen bu yaklaşımda literatürde açık erişimli sunulan bir veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti uyarılma, değerlik ve baskınlık değerlerine sahip olup, EEG sinyallerinden oluşmaktadır. Geliştirilen modelde bu üç durum için sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar kanal bazlı hesaplanmıştır. Geliştirilen modelin performansını gözlemleyebilmek için doğruluk, kesinlik, duyarlılık, geometrik ortalama ve F1-skor parametre değerleri hesaplanmıştır. İkili sınıflandırma prensibine dayanan bu yaklaşımda uyarılma eksenini için kanal bazlı hesaplanan sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Uyarılma eksenini için hesaplanan kanal bazlı sonuçlar

Kanal No	Kanal Adı	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	Geometrik Ort.	F1-Skor
1	AF3	66.44	64.21	61.94	58.68	62.08
2	F7	65.42	62.95	60.62	56.81	60.62
3	F3	65.42	62.93	60.95	57.67	61.04
4	FC5	62.71	59.42	57.60	53.02	57.30
5	T7	63.73	60.83	59.24	55.84	59.23
6	P7	67.80	66.03	63.04	59.46	63.23
7	O1	68.47	67.48	62.94	58.04	62.94
8	O2	68.14	66.93	62.67	57.86	62.66
9	P8	64.75	62.16	59.09	53.60	58.68
10	T8	66.44	64.43	61.12	56.47	61.02
11	FC6	66.44	64.27	61.61	57.83	61.68
12	F4	68.14	66.51	63.32	59.66	63.51
13	F8	64.41	61.64	59.47	55.35	59.36
14	AF4	66.78	64.74	61.89	58.02	61.96

Geliştirilen modelin uyarılma verilerine uygulanması ile elde edilen performans metrik değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek sınıflandırma başarısı 7 numaralı kanal olan O1 için elde edilmiştir. Bu kanala ait hata matrisi ise Şekil 7'de verilmektedir.



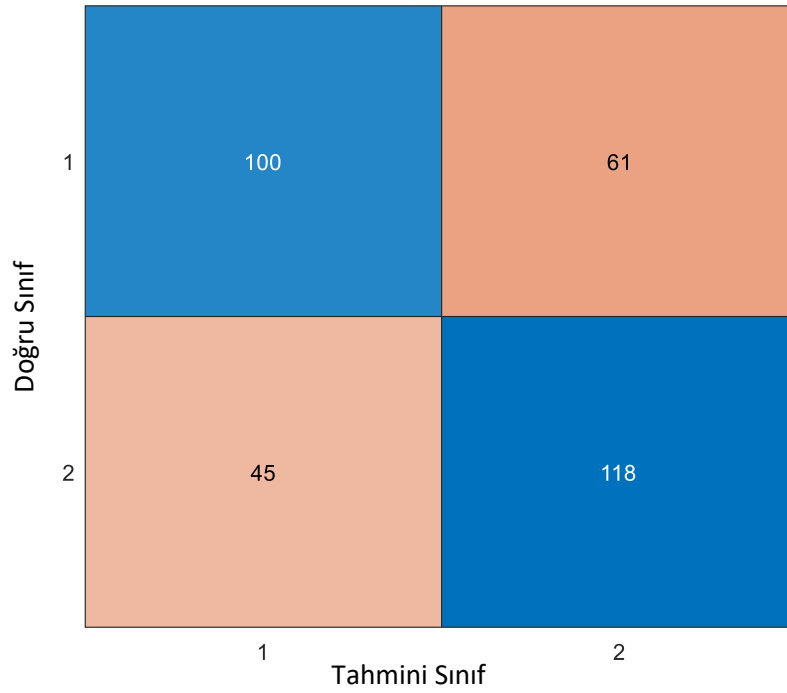
Şekil 7. Uyarılma için O1 kanalı ait hata matrisi

Bölüm başında belirtildiği üzere üç durum için de kanal bazlı sonuçlar hesaplanmıştır. Bu kapsamda değerlik eksenini için hesaplanan performans metrik değerleri Tablo 4’te verildiği gibidir.

Tablo 4. Değerlik eksenini için hesaplanan kanal bazlı sonuçlar

Kanal No	Kanal Adı	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	Geometrik Ort.	F1-Skor
1	AF3	63.89	63.89	63.88	63.87	63.88
2	F7	62.04	62.04	62.03	62	62.02
3	F3	67.28	67.44	67.25	67.06	67.18
4	FC5	64.81	64.83	64.80	64.77	64.79
5	T7	62.96	62.97	62.97	62.96	62.96
6	P7	63.58	63.64	63.56	63.43	63.51
7	O1	64.81	64.81	64.81	64.80	64.81
8	O2	54.01	54.01	54	53.94	53.98
9	P8	62.35	62.35	62.35	62.35	62.35
10	T8	57.41	57.42	57.41	57.41	57.41
11	FC6	62.04	62.04	62.04	62.04	62.04
12	F4	63.89	63.89	63.88	63.87	63.88
13	F8	63.27	63.27	63.27	63.27	63.27
14	AF4	55.25	55.24	55.23	55.18	55.21

Tablo 4’te verildiği üzere değerlik durumu için en yüksek sınıflandırma sonucu %67.28 olarak hesaplanmıştır. Ek olarak, en yüksek başarı F3 kanalı üzerinde elde edilmiştir. Bu bağlamda, F3 kanalı için elde edilen hata matrisi ise Şekil 8’de verilmiştir.



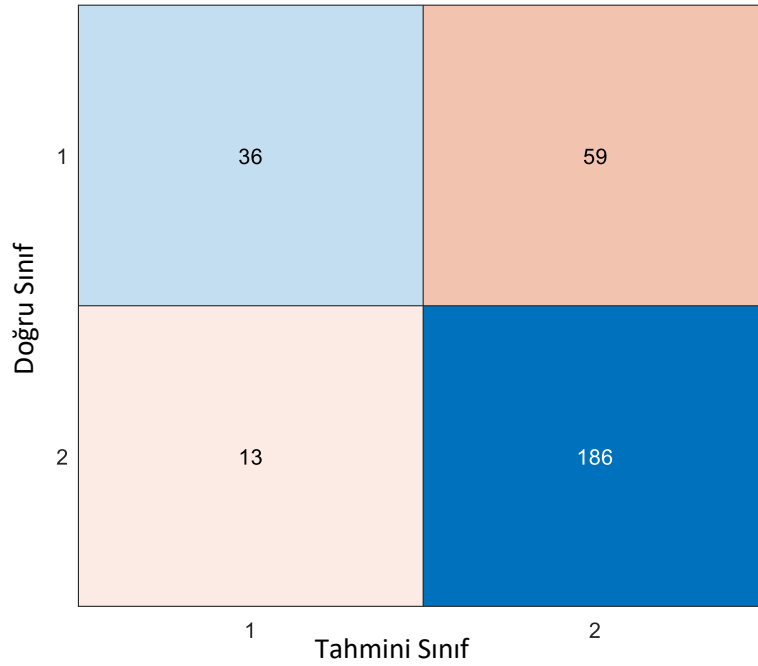
Şekil 8. Uyarılma için F3 kanalı ait hata matrisi

Geliştirilen modelin son aşamasında ise test edilen diğer durum baskınlıktır. Bu durum için hesaplanan performans metrik değerleri kanal bazlı olarak Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Baskınlık eksenini için hesaplanan kanal bazlı sonuçlar

Kanal No	Kanal Adı	Doğruluk	Keskinlik	Duyarlılık	Geometrik Ort.	F1-Skor
1	AF3	70.07	64.85	59.74	52.11	59.91
2	F7	75.17	73.59	65.70	60.01	66.89
3	F3	67.01	59.45	56.10	46.86	55.60
4	FC5	74.15	72.56	63.85	56.83	64.72
5	T7	68.37	62.03	58.48	51.37	58.56
6	P7	72.79	71.71	60.92	50.85	60.93
7	O1	68.71	62.51	58.46	50.77	58.46
8	O2	67.01	59.06	55.27	44.22	54.31
9	P8	75.51	74.69	65.68	59.51	66.89
10	T8	69.39	63.72	58.13	48.65	57.81
11	FC6	74.83	74.22	64.35	57.13	65.31
12	F4	68.03	61.36	57.68	49.71	57.56
13	F8	73.81	70.85	64.70	59.35	65.69
14	AF4	74.83	73.15	65.18	59.19	66.29

Baskınlık durumu için hesaplanan en yüksek sınıflandırma sonucu %75.51 ile P8 kanalına aittir. Bu kanal için hesaplanan karmaşık matrisi ise Şekil 9’da verilmektedir.



Şekil 9. Değerlik için P8 kanalı ait hata matrisi

Gerçekleştirilen bu çalışmada, temel seviyede bir makine öğrenmesi yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu kapsamda, kullanılan yöntemlerde temel düzeyde seçilmiştir. Bu nedenle hesaplanan sınıflandırma doğrulukları düşüktür.

5.2. Karşılaştırmalı Sonuçlar

Literatürde açık erişimli veri setleri kullanılarak gerçekleştirilen çok çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada DREAMER veri setini kullanan bir makine öğrenmesi modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin aynı veri setini kullanan diğer çalışmalar ile karşılaştırması Tablo 6'da verilmiştir.

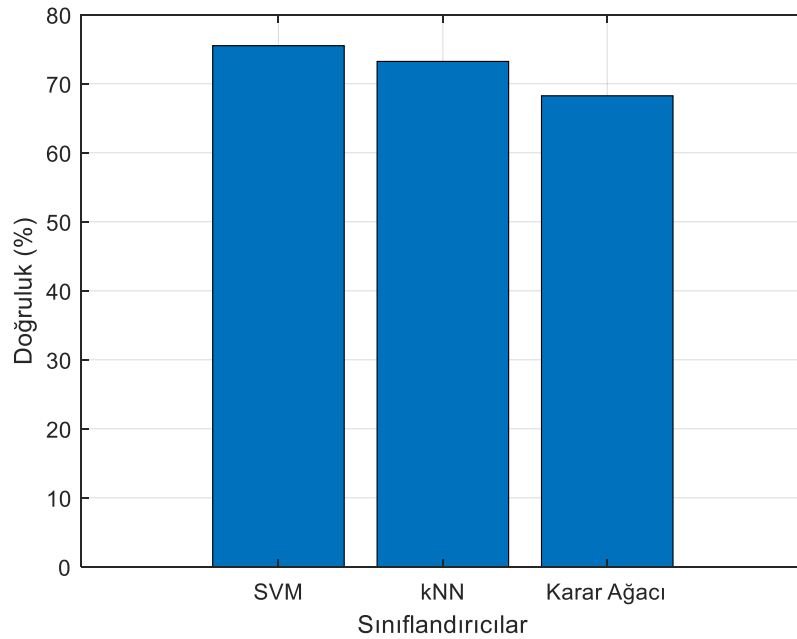
Tablo 6. DREAMER veri setini kullanan diğer çalışmalar ile karşılaştırmalı sonuçlar

Yazar(lar)	Yıl	Yöntem	Doğrulama Stratejisi	Sonuçlar		
				Uyarılma	Değerlik	Baskınlık
Cheng et al. [21]	2020	Derin sinir ağlar	10-katlamalı çapraz doğrulama	90.41	89.03	89.89
Liu et al. [22]	2020	Kapsül ağlar	10-katlamalı çapraz doğrulama	95.26	94.59	95.13
Bhattacharyya et al. [23]	2021	FBSE-EWT	10-katlamalı çapraz doğrulama	85.4	86.2	84.5
Wang et al. [24]	2021	Domain adaptasyon simetrik matris	---	76.57	67.99	81.77
Dogan et al. [25]	2021	Prime örüntü	LOSO çapraz doğrulama	100	100	100
Tuncer et al. [26]	2021	LEDPatNet19	10-katlamalı çapraz doğrulama	94.58	94.44	92.86
Li et al. [27]	2022	MTCA CapsNet	10-katlamalı çapraz doğrulama	94.96	95.54	95.52
Tuncer et al. [28]	2022	Tetromino örüntü	10-katlamalı çapraz doğrulama	100	100	100
He et al. [29]	2022	Zamansal evrişimli ağlar	LOSO çapraz doğrulama	63.69	66.56	
Quan et al. [30]	2023	Çoklu temsil varyasyonel otomatik kodlayıcı	15-katlamalı çapraz doğrulama	79.59	75.08	---

Tablo 6 (Devamı)

Yazar(lar)	Yıl	Yöntem	Doğrulama Stratejisi	Sonuçlar		
				Uyarılma	Değerlik	Baskınlık
Liu et al. [8]	2023	Özellik toplama ağı	10-katlamalı çapraz doğrulama	94.91	94.53	95.35
Wei et al.[13]	2023	Dönüşüm tabanlı evrişimli sinir ağı	10-katlamalı çapraz doğrulama	98.59	98.61	98.67
Bizim Metod		TQWT, LBP, istatistiksel moment, ReliefF ve SVM	10-katlamalı çapraz doğrulama	68.47	67.28	75.51

Tablo 6'dan görülebileceği üzere bu çalışmada önerilen yöntem literatürde gerçekleştirilen diğer çalışmalara göre düşük sınıflandırma başarısına sahiptir. Nitekim, DREAMER veri seti üzerinde bazı çalışmalar [25],[28] her üç durum için %100 sınıflandırma başarısına ulaşmıştır. Bizim yöntemimiz literatürdeki temel yöntemlerden oluşmaktadır. Bu nedenle, önerilen model düşük sınıflandırma performansı göstermiştir. Fakat, daha kompleks özellik çıkarma yöntemleri kullanılarak sınıflandırma performansının arttırılacağı ön görülmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada farklı sınıflandırıcıların performansı da değerlendirilmiştir. Bu aşamada SVM, kNN ve karar ağaçları kullanılarak önerilen yöntemin performansı karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi baskınlık eksenini için test işlemleri gerçekleştirilmiş olup, bu işleme ait test sonuçları Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Sınıflandırma algoritmalarının baskınlık eksenindeki performansları

Şekil 10'dan görülebileceği üzere önerilen yöntem en yüksek sınıflandırma başarısına SVM algoritması ile ulaşmıştır. SVM ve kNN algoritmaları birbirine yakın performans göstermesine rağmen karar ağacı yöntemi %70'in altında kalarak en düşük sınıflandırma performansını göstermiştir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, literatürde önemli bir sorun olan otomatik doğru duygu tanınmanın EEG sinyalleri kullanılarak gerçekleştirilmesine odaklanılmıştır. Önerilen yöntem, yerel ikili örüntü (YİÖ) ve istatistiksel moment tabanlı özellik çıkarma, ReliefF ile özellik seçme ve destek vektör makinesi (DVM) tabanlı sınıflandırma tekniğini kullanmaktadır. Önerilen yöntem, mevcut literatürde açık erişimli olan DREAMER veri seti üzerinde test edilmiştir ve sırasıyla uyarılma, değerlik ve baskınlık durumları için %68.47, %67.28 ve %75.51 oranında sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada önerilen yöntem düşük sınıflandırma performansı göstermiştir. Diğer bölümlerde de belirtildiği üzere bu durum önerilen modelin basit yapısından kaynaklanmaktadır. Gelecekte

daha kompleks özellik çıkarma yöntemlerinin geliştirilmesi ve literatürdeki diğer çalışmalarda olduğu gibi yüksek sınıflandırma başarısına ulaşılması hedeflenmektedir. Ek olarak, önerilecek yeni yöntemlerin düşük hesapsal karmaşıklığa sahip olması amaçlanmaktadır.

Kaynakça

- [1] B. Parkinson, “Emotions are social”, *Br. J. Psychol.*, c. 87, sayı 4, ss. 663–683, 1996, doi: 10.1111/j.2044-8295.1996.tb02615.x.
- [2] S. Liu, Z. Wang, Y. An, J. Zhao, Y. Zhao, ve Y. D. Zhang, “EEG emotion recognition based on the attention mechanism and pre-trained convolution capsule network”, *Knowledge-Based Syst.*, c. 265, s. 110372, 2023, doi: 10.1016/j.knosys.2023.110372.
- [3] J. Prinz, “Which emotions are basic?”, *Emot. Evol. Ration.*, ss. 1–19, 2012, doi: 10.1093/acprof:oso/9780198528975.003.0004.
- [4] D. Maheshwari, S. K. Ghosh, R. K. Tripathy, M. Sharma, ve U. R. Acharya, “Automated accurate emotion recognition system using rhythm-specific deep convolutional neural network technique with multi-channel EEG signals”, *Comput. Biol. Med.*, c. 134, sayı May, s. 104428, 2021, doi: 10.1016/j.combiomed.2021.104428.
- [5] R. Jenke, A. Peer, ve M. Buss, “Feature Extraction and Selection for Emotion Recognition from Electrodermal Activity”, *IEEE Trans. Affect. Comput.*, c. 12, sayı 4, ss. 857–869, 2021, doi: 10.1109/TAFFC.2019.2901673.
- [6] A. Dogan vd., “Automated accurate emotion classification using Clefia pattern-based features with EEG signals”, *Int. J. Healthc. Manag.*, ss. 1–14, 2022, doi: 10.1080/20479700.2022.2141694.
- [7] G. Xiao, M. Shi, M. Ye, B. Xu, Z. Chen, ve Q. Ren, “4D attention-based neural network for EEG emotion recognition”, *Cogn. Neurodyn.*, ss. 1–14, 2022, doi: 10.1007/s11571-021-09751-5.
- [8] J. Li vd., “Cross-subject EEG emotion recognition combined with connectivity features and meta-transfer learning”, *Comput. Biol. Med.*, c. 145, sayı April, s. 105519, 2022, doi: 10.1016/j.combiomed.2022.105519.
- [9] M. Yu Zhong, Q. Yu Yang, Y. Liu, B. Yu Zhen, F. Da Zhao, ve B. Bei Xie, “EEG emotion recognition based on TQWT-features and hybrid convolutional recurrent neural network”, *Biomed. Signal Process. Control*, c. 79, sayı P2, s. 104211, 2023, doi: 10.1016/j.bspc.2022.104211.
- [10] A. R. Aguiñaga, L. M. Delgado, V. R. López-López, ve A. C. Téllez, “EEG-Based Emotion Recognition Using Deep Learning and M3GP”, *Appl. Sci.*, c. 12, sayı 5, s. 2527, 2022, doi: doi.org/10.3390/.
- [11] Z. Zhang, S. Hua Zhong, ve Y. Liu, “GANSER: A Self-supervised Data Augmentation Framework for EEG-based Emotion Recognition”, *IEEE Trans. Affect. Comput.*, c. XX, sayı XX, ss. 1–17, 2022, doi: 10.1109/TAFFC.2022.3170369.
- [12] R. Yuvara, P. Thagavel, J. Thomas, ve J. Fogarty, “Comprehensive Analysis of Feature Extraction Methods for Emotion Recognition from Multichannel EEG Recordings”, *Sensors*, ss. 1–19, 2023, doi: 10.3390/s23020915.
- [13] Y. Wei, Y. Liu, C. Li, J. Cheng, R. Song, ve X. Chen, “TC-Net: A Transformer Capsule Network for EEG-based emotion recognition”, *Comput. Biol. Med.*, c. 152, sayı June 2022, s. 106463, 2023, doi: 10.1016/j.combiomed.2022.106463.
- [14] K. R. Scherer, “What are emotions? and how can they be measured?”, *Soc. Sci. Inf.*, c. 44, sayı 4, ss. 695–729, 2005, doi: 10.1177/0539018405058216.
- [15] L. F. Barrett, M. Gendron, ve Y. M. Huang, “Do discrete emotions exist?”, *Philos. Psychol.*, c. 22, sayı 4, ss. 427–437, 2009, doi: 10.1080/09515080903153634.
- [16] E. Harmon-Jones, C. Harmon-Jones, ve E. Summerell, “On the importance of both dimensional and discrete models of emotion”, *Behav. Sci. (Basel)*, c. 7, sayı 4, 2017, doi: 10.3390/bs7040066.
- [17] M. M. Bradley ve P. J. Lang, “Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential”, *J. Behav. Ther. Exp. Psychiatry*, c. 25, sayı 1, ss. 49–59, Mar. 1994, doi: 10.1016/0005-7916(94)90063-9.
- [18] S. Katsigiannis ve N. Ramzan, “DREAMER: A Database for Emotion Recognition Through EEG and ECG Signals from Wireless Low-cost Off-the-Shelf Devices”, *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, c. 22, sayı 1, ss. 98–107, 2018, doi: 10.1109/JBHI.2017.2688239.

- [19] I. W. Selesnick, “Wavelet transform with tunable Q-factor”, *IEEE Trans. Signal Process.*, c. 59, sayı 8, ss. 3560–3575, 2011, doi: 10.1109/TSP.2011.2143711.
- [20] M. Baygin, “An accurate automated schizophrenia detection using TQWT and statistical moment based feature extraction”, *Biomed. Signal Process. Control*, c. 68, sayı January, s. 102777, 2021, doi: 10.1016/j.bspc.2021.102777.
- [21] J. Cheng vd., “Emotion Recognition From Multi-Channel”, *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, c. 25, sayı 2, ss. 453–464, 2021.
- [22] Y. Liu vd., “Multi-channel EEG-based emotion recognition via a multi-level features guided capsule network”, *Comput. Biol. Med.*, c. 123, sayı July, s. 103927, 2020, doi: 10.1016/j.combiomed.2020.103927.
- [23] A. Bhattacharyya, R. K. Tripathy, ve L. Garg, “A Novel Multivariate-Multiscale Approach for Computing EEG Spectral and Temporal Complexity for Human Emotion Recognition”, c. 21, sayı 3, ss. 3579–3591, 2021, doi: 10.1109/JSEN.2020.3027181.
- [24] Y. Wang, S. Qiu, X. Ma, ve H. He, “A prototype-based SPD matrix network for domain adaptation EEG emotion recognition”, *Pattern Recognit.*, c. 110, s. 107626, 2021, doi: 10.1016/j.patcog.2020.107626.
- [25] A. Dogan vd., “PrimePatNet87: Prime pattern and tunable q-factor wavelet transform techniques for automated accurate EEG emotion recognition”, *Comput. Biol. Med.*, c. 138, sayı September, s. 104867, 2021, doi: 10.1016/j.combiomed.2021.104867.
- [26] T. Tuncer, S. Dogan, ve A. Subasi, “LEDPatNet19: Automated emotion recognition model based on nonlinear LED pattern feature extraction function using EEG signals”, *Cogn. Neurodyn.*, c. 16, sayı 4, ss. 779–790, 2022, doi: 10.1007/s11571-021-09748-0.
- [27] C. Li vd., “Emotion recognition from EEG based on multi-task learning with capsule network and attention mechanism”, *Comput. Biol. Med.*, c. 143, sayı January, s. 105303, 2022, doi: 10.1016/j.combiomed.2022.105303.
- [28] T. Tuncer, S. Dogan, M. Baygin, ve U. Rajendra Acharya, “Tetromino pattern based accurate EEG emotion classification model”, *Artif. Intell. Med.*, c. 123, sayı March 2021, s. 102210, 2022, doi: 10.1016/j.artmed.2021.102210.
- [29] Z. He, Y. Zhong, ve J. Pan, “Joint Temporal Convolutional Networks and Adversarial Discriminative Domain Adaptation for Eeg-Based Cross-Subject Emotion Recognition”, *ICASSP, IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process. - Proc.*, c. 2022-May, ss. 3214–3218, 2022, doi: 10.1109/ICASSP43922.2022.9746600.
- [30] J. Quan, Y. Li, L. Wang, R. He, S. Yang, ve L. Guo, “EEG-based cross-subject emotion recognition using multi-source domain transfer learning”, *Biomed. Signal Process. Control*, c. 84, sayı September 2022, s. 104741, 2023, doi: 10.1016/j.bspc.2023.104741.



Research Article

A Study on Monitoring of Chlorophyll-a Level by Remote Sensing

Mustafa Akgün¹ *

¹ Department of Advanced Technologies, Ardahan University, 75002 Ardahan, Türkiye

* Correspondence: mustafaakgun@ardahan.edu.tr

Received: 19 April 2023; Accepted: 14 June 2023; Published: 30 June 2023

Abstract: In this study, the chlorophyll-a level of the part of the Kura river within the borders of Ardahan city center was determined and a chlorophyll-a map was made with the support of Göktürk-2 satellite imagery. Detection and monitoring of chlorophyll-a, which is an important parameter among water quality criteria, plays a very decisive role in the protection and management of water resources. Conventional determination of chlorophyll-a levels in lakes and streams is a time-consuming and laborious method that requires on-site sampling. For this purpose, on 30 August 2016, samples were taken from 5 suitable points for the study and the chlorophyll-a levels of these samples were determined. In addition, NDVI analysis was carried out using the infrared and red bands of the image taken from the Göktürk-2 satellite on the same date. Thus, the chlorophyll-a map of the Kura river was created. In addition, regression analysis was performed between the pixel values of the chlorophyll-a map and the results of the chlorophyll-a value obtained from the field studies and gave acceptable results. The predictive coefficient (R^2) of the regression analysis was found to be 0.95, which is a high value.

Keywords: remote sensing, chlorophyll-a, Göktürk-2, Kura river

Araştırma Makalesi

Uzaktan Algılama ile Klorofil-a İzlenmesi Üzerine Bir Çalışma

Öz: Bu çalışmada, Kura nehrinin Ardahan il merkezi sınırları içerisinde bulunan kısmının klorofil-a düzeyinin belirlenip Göktürk-2 uydu görüntüsü desteği ile klorofil-a haritası yapılmıştır. Su kalitesi kriterlerinden önemli bir parametre olan klorofil-a'nın tespiti ve izlenmesi su kaynaklarının korunması ve yönetilmesi konusunda oldukça belirleyici rol oynamaktadır. Göllerin ve akarsuların klorofil-a seviyelerinin geleneksel tespiti, yerinde örnekleme gerektiren, zaman alıcı ve zahmetli bir yöntemdir. Bu amaçla 30 Ağustos 2016 tarihinde olmak üzere çalışma için uygun 5 noktadan numune alınmış ve alınan bu numunelerin klorofil-a düzeyleri belirlenmiştir. Ayrıca Göktürk-2 uydusundan aynı tarihte alınan görüntünün kızılötesi ve kırmızı bantları kullanılarak NDVI analizi yapılmıştır. Böylece Kura nehrinin klorofil-a haritası oluşturulmuştur. Ayrıca oluşturulan klorofil-a haritasının piksel değerleri ile saha çalışmalarından elde edilen klorofil-a değeri sonuçları arasında regresyon analizi yapılmış ve kabul edilebilir sonuçlar vermiştir. Yapılan regresyon analizinin belirleyicilik katsayısı (R^2) yüksek bir değer olan 0.95 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: uzaktan algılama, klorofil-a, Göktürk-2, Kura nehri

Citation: M. Akgün, "A Study on Monitoring of Chlorophyll-a Level by Remote Sensing", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 1, no. 1, pp. 41-47, Jun 2023, doi: 10.5281/zenodo.8074879

1. Giriş

Su kalitesi parametrelerinin uzaktan algılama teknolojisi kullanılarak izlenmesine dair çalışmalar [1], [2] son zamanlarda popülerlik kazanmıştır. Son dönemlerde uydu görüntülerine erişim eskiye oranla daha kolaylaştığı için uzaktan algılama çalışmaları hızlanmıştır. Bu noktada, çevre kirliliğinin tespiti ve izlenmesi açısından yapılacak analizlerde uzaktan algılama teknolojisi kolay, hızlı ve etkili bir şekilde kullanılabilir [3]–[6]. Uzaktan algılama teknolojisi kullanılarak renkli organik madde, bulanıklık ve klorofil-a değerleri ölçülebilir. Bu teknoloji, çevre kirliliğinde su kalitesi boyutuna odaklanan çalışmaları incelerken kolaylıkla kullanılmaktadır [7]–[12]. Uzaktan algılama teknolojisi yardımıyla renkli organik madde, bulanıklık ve klorofil-a değerleri gibi su kalitesi parametreleri tespit edilip izlenebilmekte ve böylece arazi çalışmasına gerek kalmadan su kaynaklarının kalitesinin takibi için yapılan çalışmalar uzaktan kolayca yapılabilmektedir. Literatürde uydulardan sağlanan görüntüler neticesinde matematiksel modeller oluşturularak klorofil-a değerinin tahmin edildiği [13]–[15] ve araziden veri toplanmasına gerek duyulmadan su kalitesi ile ilgili somut sonuçların elde edilebildiği çalışmalar mevcuttur.

Uzaktan algılama terimi, cisimlere fiziksel bir temasta olmadan herhangi bir mesafeden o cisim hakkında bilgi edinme sanatı ve bilimi olarak tanımlanabilmektedir [16]. Landsat uydusunun fırlatılması, su kalitesini uzaktan algılama yöntemleriyle belirlemeye yönelik çalışmaların başlangıcı olmuş ve birçok uydu günümüzde de etkin bir biçimde su kaynaklarının izlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır [17]–[19]. Su kalitesinin izlenmesi ve kalitenin düzeyinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda, ışığın görünür bölgedeki bantları (mavi, yeşil ve kırmızı) ve kızılötesi bantlar tekil olarak veya bu bantların farklı bileşimleri olarak kullanılmıştır [10], [20]. Uzaktan algılama teknolojileri mevcut durumun tespitine ek olarak daha eski verilerin işlenmesi yoluyla sürecin nasıl işlediğini ve nasıl ilerlediğini de gösterebilir.

Kirleticiler su kaynaklarına birden fazla yerden karışabilir ve su kaynağının kimyasal özelliklerini ve fiziksel özelliklerini değiştirebilirler. Suyun kalitesini kirleticilerinden başka bozan etkenlerin başlıcaları olarak sıcaklık değişimi, yağışlar, su kaynağının hidrolik özellikleri ve diğer hidrolik süreçleri sayabiliriz [21]. Literatürde uzaktan algılama yöntemleri yardımıyla matematiksel modeller geliştirilmesi ve geliştirilen bu modeller yardımıyla su kaynaklarının yönetilmesine yönelik birçok çalışmaya rastlanılmaktadır [22]–[25].

Suyun çeşitli amaçlar için kullanımı dikkate alındığında su kaynaklarının yönetimi için su kalitesinin tespit edilmesi, kaliteyi en iyi şekilde temsil edecek ölçüm yerlerinin ve su kalitesi parametrelerinin iyi belirlenmesi gerekir. Klorofil-a önemli bir su kalitesi parametresi olması sebebiyle bu çalışmada seçilmiştir.

Bu çalışma için Kura nehrinin Ardahan ili sınırları içerisinde kalan kısmı seçilmiştir. Nehirdeki klorofil-a düzeyleri ile Göktürk-2 uydu görüntüsünün kızılötesi ve kırmızı bantları kullanılarak NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) analizi yapılmış ve klorofil-a sonuçları ile NDVI analizi arasındaki ilişki araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı olarak belirlenen Ardahan (41° 6'46.69"K, 42°42'8.12"D) il merkezi, Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeydoğu kesiminde yer almaktadır ve Karadeniz Bölgesi'ne komşudur. Ardahan, rakım olarak yüksek ve engebeli bir arazi yapısına sahiptir. Sahada 3000 m'yi aşan dağlar yer alır. Ardahan Merkez ilçesinin batısında Artvin'in Şavşat ilçesi, kuzeyinde Hanak, doğusunda Çıldır ve güneyinde Göle yer almaktadır. Ardahan'da; kışları soğuk, yazları ılık, her mevsim yağışlı olan nemli orta enlem iklimi hakimdir. Yıllık ortalama sıcaklık 3.8 °C'dir, yılın 5 ayı sıcaklık ortalaması 0 °C'nin altında [26] olup çalışma alanı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Ardahan ili genel görünümü

2.2. Veri toplama

2.2.1 Uydu görüntüsü verilerinin toplanması

409 kg ağırlığına sahip olan Göktürk-2 uydusu, 18 Aralık 2012 tarihinde uzaya fırlatılmıştır. Uydunun tekrar ziyaret zamanı (uydunun görüntü alınan koordinattan tekrar geçme süresi) ortalama 2.5 gün olup uydu 5 m renkli çözünürlüğe, 2.5 m siyah beyaz çözünürlüğe sahiptir. Göktürk-2 uydusu, mavi (0.422-0.512 μm), yeşil (0.5-0.584 μm), kırmızı (0.596-0.750 μm), yakın kızılötesi (0.762-0.894 μm) ve orta kızılötesi (0.8-1.7 μm) olmak üzere 5 spektral banda sahiptir [27]. Göktürk-2 uydu görüntüleri yalnızca kamu kurum ve kuruluşları ile belediyeler ve üniversitelerle bedelsiz paylaşılmakta. Yerli ve yabancı gerçek ve tüzel kişilere satışı bulunmamaktadır.

30 Haziran 2016 tarihindeki uydu görüntüsü, Türk Hava Kuvvetlerine bağlı Keşif ve Uydu Komutanlığı tarafından sağlandı. Keşif ve Uydu Komutanlığı aynı zamanda Göktürk-2 uydusunun işletilmesini de sağlamaktadır. Bu sebeple görüntülere radyometrik ve atmosferik düzeltme işlemleri de yine Keşif ve Uydu Komutanlığı tarafından yapıldı.

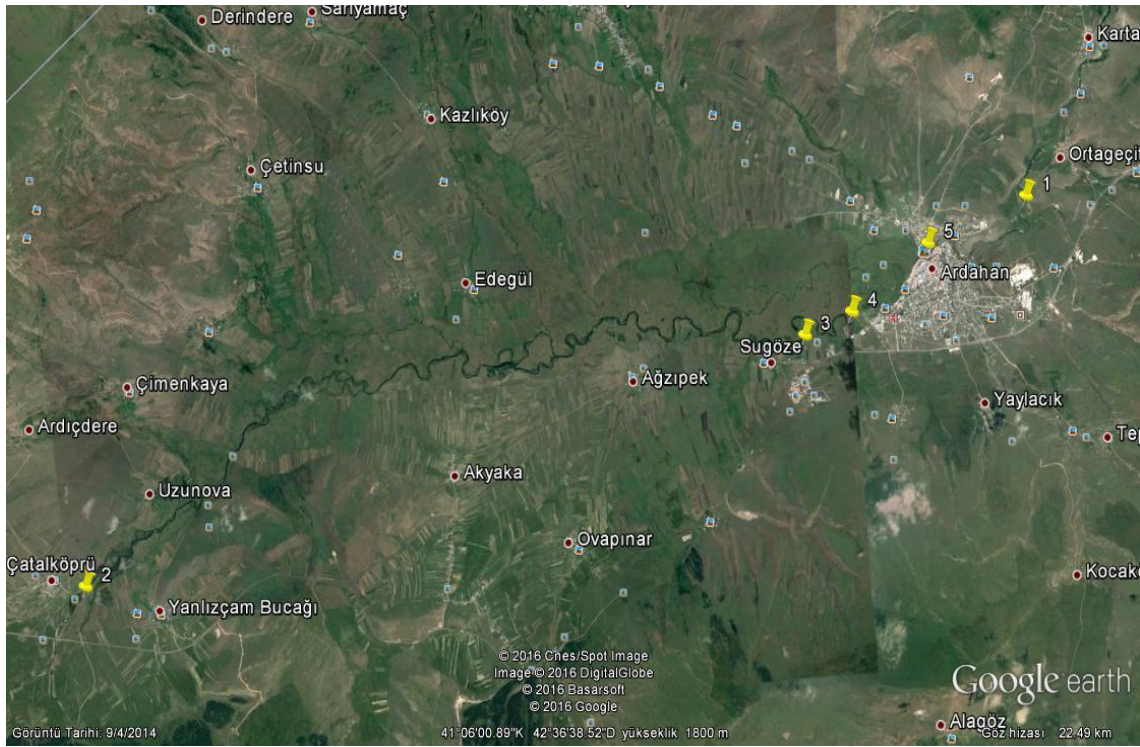
Görüntü işleme için ERDAS Imagine programı 2016 versiyonu kullanıldı ve UTM koordinat sistemine göre konumlandırıldı (WGS84, zone 38). Geometrik düzeltme işlemi için 15 adet yer kontrol noktası belirlendi ve bu noktalara göre yapıldı. Geometrik düzeltme işleminin RMS hatası 1 pikselden daha az olarak elde edildi.

2.2.2 Arazi verilerinin toplanması

Bu araştırmanın çalışma alanı olarak belirlenen Ardahan ili merkezinden harita üzerinden 5 farklı nokta belirlenmiş ve bu noktalardan numune alınması planlanmıştır. Bu plan çerçevesinde; 30 Haziran 2016 tarihinde belirlenen 5 farklı noktadan numune alınmıştır. Klorofil-a analizi için alınan numuneler vakit kaybedilmeden laboratuvara getirilmiş ve analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, aynı tarihte alınan uydu görüntüsü ile kura nehri klorofil-a haritasının hazırlanmasında kullanılmıştır. Tablo 1 de Kura nehrinden alınan su numunelerinin koordinatları ve Şekil 2'de numunelerin yerleri gösterilmektedir. Numuneler nehrinden alınırken su kirliliği kontrolü yönetmeliği numune alma ve analiz metodları tebliğinin ilgili hükümleri gereğince alınmıştır [28].

Tablo 1. Kura nehrinden alınan su numunelerinin koordinatları

İstasyon	Koordinatlar	
	Enlem	Boylam
1	41° 7'21.28"K	42°43'36.26"D
2	41° 4'9.98"K	42°28'58.79"D
3	41° 6'4.52"K	42°40'5.70"D
4	41° 6'17.58"K	42°40'54.41"D
5	41° 6'54.37"K	42°42'0.07"D



Şekil 2. Alınan su numunelerin konumu

2.3. Veri Analizi

2.3.1. Görüntü İşleme

Geometrik olarak düzeltilmiş görüntülerde, tek bir bantın aynı olgu için farklı yansımaya değerlerinin etkisinin azaltılması için bant oranlaması kullanılmıştır. Bantların oranlanmasıyla aynı olguya ait iki farklı yansımaya değer arasında bir ilişki kurulabilmekte ve verinin işlenerek geliştirilmesi veya daha etkin kullanımı mümkün olabilmektedir [20]. Su kaynaklarının araştırılmasında en çok kullanılan bantlar yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi bantlardır. [20]. Göktürk-2 uydusundan alınan görüntünün ilgilenilen kısmının (AOI) elde edilen için ERDAS Imagine yazılımının 2016 sürümü kullanılmıştır. AOI'ler, araziden alınan veriler ile uydu görüntüsü arasında ilişki kurabilmek için uydulardan elde edilen ham görüntülerdeki piksel değerlerinin koordinatlarıdır. Su ampirik model yaklaşımı olarak bilinen, yansımaya değerlerinden elde edilen değerlere göre geliştirilen modeller ile kirletici maddelerin sudaki miktarları belirlenebilmektedir [10]. Klorofil-a değeri haritaları NDVI analizi ile oluşturulmuştur.

2.3.2 İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analiz IBM SPSS Statistics 25 yazılımı kullanılarak yapıldı. Klorofil-a değeri bağımsız değişken olarak ve Göktürk-2 uydu görüntüsünün kızılötesi bandı ve kırmızı bandından elde edilen NDVI değeri ise bağımlı değişken olarak belirlendi ve bu iki değişken arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek için doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. Doğrusal regresyon analizi yapılırken %95 güven aralığı dikkate alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Klorofil-a değerlerine yönelik bulgular

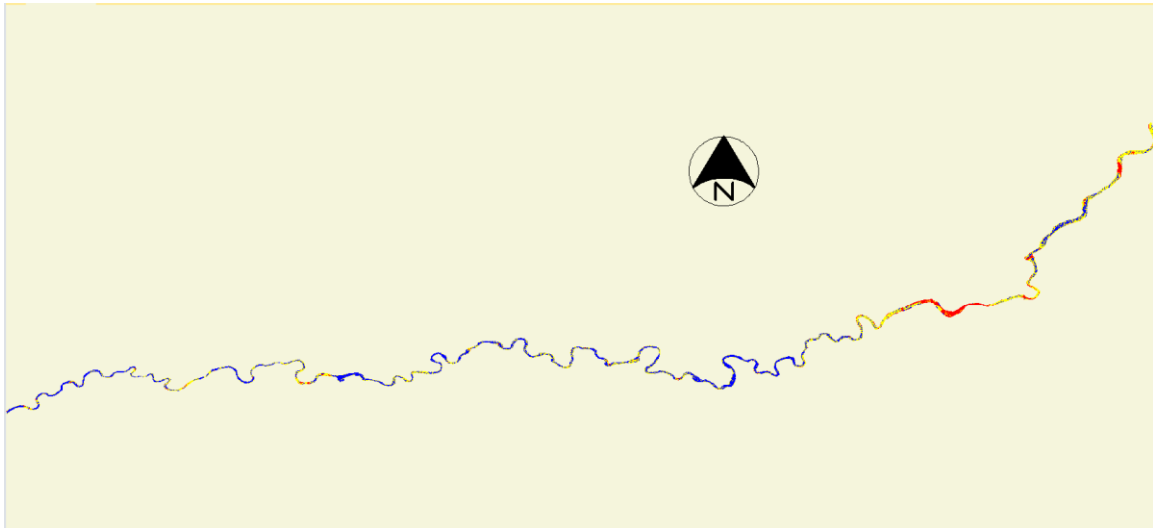
Tablo 2 de Kura nehrinden önceden belirlenen noktalardan 30 Haziran 2016 tarihinde alınan örneklerle klorofil-a analizi yapıldı ve sonuçların 2.24 $\mu\text{g/L}$ ile 4.89 $\mu\text{g/L}$ arasında olduğu tespit edildi. Bu sonuçlar Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. 30 Haziran 2016 tarihinde Kura nehrinden alınan su numunelerinin klorofil-a değerleri

İstasyon	30 Haziran 2016
1	3.74
2	2.24
3	4.89
4	4.36
5	2.24

3.2 Klorofil-a haritasının oluşturulması

Klorofil-a'nın genel olarak sudaki organik maddelerden kaynaklandığı söylenebilir. Şekil 3, Kura nehrinin 30 Haziran 2016 tarihli klorofil-a derecesini gösteren tematik bir haritasıdır. Bu haritaların hazırlanmasında NDVI değerleri kullanılmıştır. Klorofil-a haritası üretilirken indeks veya bant kombinasyonları kullanılmasının nedeni; topoğrafya kaynaklı düzensizlikten ya da güneş ışığının gelişinin engellenmesinden kaynaklı, aynı nitelikteki bölgenin değişik aydınlanması sebebiyle gölge faktörünün etkisinin azaltılabilmesidir. Böylece aynı obje için birden fazla yansıma değerleri oluşması önlenmiş olur ve bu olgular arasında bir ilişki kurulabilmesi ya da yetersiz veriyi geliştirmek veya etkin hale getirmek daha olası hale gelir. NDVI sonucunda elde edilen klorofil-a değerleri için üretilen haritada nehrin klorofil-a seviyesi üç sınıfa ayrılmış ve mavi, sarı ve kırmızı renkli olarak Şekil 3'te gösterilmiştir.

**Şekil 3.** Kura nehrinin 30 Haziran 2016 tarihli klorofil-a derecesini gösteren haritası

3.3 Doğrusal Regresyon modeli

Bu çalışmada NDVI analiziyle klorofil-a miktarının arasındaki ilişkinin gücünün belirlenebilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Koordinat değerleri belirlenmiş olan noktalardan alınan numunelerin klorofil-a değerleri sonuçları ile NDVI analizi sonucu üretilen görüntünün belirlenen noktaların koordinatlarından alınan piksel değerleri kıyaslanmıştır. Regresyon analizi yapılırken Klorofil-a değerleri bağımlı değişken, NDVI görüntüsünün ilgili koordinattaki piksel değeri ise bağımsız değişken olarak belirlenmiştir. Klorofil-a değeri ile NDVI analizi sonuçları arasında pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Regresyon katsayısı (R^2) 0.95 olarak bulunmuş ve bu değerler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Klorofil-a Regresyon Denklemi ve Katsayı Değerleri

R	R^2	Adj. R^2	Std. Hata
0.982	0.963	0.951	0.01096

4. Sonuç

Bu çalışma, Kura nehriindeki klorofil-a değeri ile Göktürk-2 uydusunun kızılötesi ve kırmızı bantları kullanılarak yapılan NDVI analizi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlardan Göktürk-2 uydusuna ait görüntülerin kızılötesi ve kırmızı bantları ile Kura nehriindeki klorofil-a miktarının belirlenmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Kura nehriindeki klorofil-a değerleri istasyon bazında karşılaştırıldığında, nehrin kenarındaki köyden karışan organik atık nedeniyle 3 numaralı istasyonun ve şehirden karışan atık nedeniyle 4 numaralı istasyonun klorofil- a miktarının diğer istasyonlara oranla daha yüksek çıktığı görülmektedir. Şehirden uzaklaşıldıkça kanalizasyondan gelen organik atıkların seyrelmesinden ve başka organik atık karışmamasından dolayı klorofil-a miktarının azaldığı görülmektedir.

Kış mevsiminde yağın nehrin kenarlarına ait piksel değerlerinin yansıma değerlerini etkilemesi ve nehrin yüzeyinin buz tutması, sonbahar ve kış mevsimlerinde havanın bulutlu, sık yağışlı olması sebebiyle bu dönemlerde uzaktan algılama teknikleri kullanılarak bir çalışma yapılması zorlaşmaktadır. İleriki çalışmalarda uzaktan algılama teknikleriyle desteklenen çalışmalarda farklı su kalitesi parametrelerinin incelenmesi ile yüzey suyu kalitesinin izlenmesinde kolaylık sağlayacak bir alternatif olduğu söylenebilir.

Kaynakça

- [1] K. Toming, T. Kutser, A. Laas, M. Sepp, B. Paavel, and T. Nõges, “First experiences in mapping lakewater quality parameters with sentinel-2 MSI imagery,” *Remote Sens.*, vol. 8, no. 8, pp. 1–14, 2016, doi: 10.3390/rs8080640.
- [2] C. Zuccari Fernandes Braga, A. W. Setzer, and L. Drude de Lacerda, “Water quality assessment with simultaneous Landsat-5 TM data at Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 45, no. 1, pp. 95–106, Jul. 1993, doi: 10.1016/0034-4257(93)90085-C.
- [3] S. Dlamini, I. Nhapi, W. Gumindoga, T. Nhwatiwa, and T. Dube, “Assessing the feasibility of integrating remote sensing and in-situ measurements in monitoring water quality status of Lake Chivero, Zimbabwe,” *Phys. Chem. Earth*, vol. 93, pp. 2–11, 2016, doi: 10.1016/j.pce.2016.04.004.
- [4] F. S. Y. Watanabe, E. Alcântara, T. W. P. Rodrigues, N. N. Imai, C. C. F. Barbosa, and L. H. da S. Rotta, “Estimation of chlorophyll-a concentration and the trophic state of the barra bonita hydroelectric reservoir using OLI/landsat-8 images,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 12, no. 9, pp. 10391–10417, 2015, doi: 10.3390/ijerph120910391.
- [5] J. Zhang, T. Zou, and Y. Lai, “Novel method for industrial sewage outfall detection: Water pollution monitoring based on web crawler and remote sensing interpretation techniques,” *J. Clean. Prod.*, vol. 312, no. June 2020, p. 127640, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127640.
- [6] Y. Guo *et al.*, “Development and application of a new sensitivity analysis model for the remote sensing retrieval of heavy metals in water,” *Heliyon*, vol. 8, no. 12, p. e12033, 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12033.
- [7] P. L. Brezonik, L. G. Olmanson, J. C. Finlay, and M. E. Bauer, “Factors affecting the measurement of CDOM by remote sensing of optically complex inland waters,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 157, pp. 199–215, 2015, doi: 10.1016/j.rse.2014.04.033.
- [8] A. I. Dogliotti, K. G. Ruddick, B. Nechad, D. Doxaran, and E. Knaeps, “A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 156, pp. 157–168, 2015, doi: 10.1016/j.rse.2014.09.020.
- [9] J. L. Wu, C. R. Ho, C. C. Huang, A. L. Srivastav, J. H. Tzeng, and Y. T. Lin, “Hyperspectral sensing for turbid water quality monitoring in freshwater rivers: Empirical relationship between reflectance and turbidity and total solids,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 14, no. 12, pp. 22670–22688, 2014, doi: 10.3390/s141222670.
- [10] I. M. Hasmadi and U. Norsaliza, “Analysis of SPOT- 5 Data for Mapping Turbidity Level of River Klang,” *Water*, vol. 1, no. 2, pp. 14–18, 2010.
- [11] F. L. Hellweger, W. Miller, and K. S. Oshodi, “Mapping turbidity in the Charles River, Boston using a high-resolution satellite,” *Environ. Monit. Assess.*, vol. 132, no. 1–3, pp. 311–320, 2007, doi: 10.1007/s10661-006-9535-8.
- [12] T. Kutser, D. C. Pierson, K. Y. Kallio, A. Reinart, and S. Sobek, “Mapping lake CDOM by satellite remote sensing,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 94, no. 4, pp. 535–540, 2005, doi: 10.1016/j.rse.2004.11.009.

- [13] K. W. Abdelmalik, "Role of statistical remote sensing for Inland water quality parameters prediction," *Egypt. J. Remote Sens. Sp. Sci.*, 2016, doi: 10.1016/j.ejrs.2016.12.002.
- [14] M. Hartnett and S. Nash, "An integrated measurement and modeling methodology for estuarine water quality management," *Water Sci. Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 9–19, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.wse.2014.10.001.
- [15] N. Strömbeck and D. C. Pierson, "The effects of variability in the inherent optical properties on estimations of chlorophyll a by remote sensing in Swedish freshwaters," *Sci. Total Environ.*, vol. 268, no. 1–3, pp. 123–137, 2001, doi: 10.1016/S0048-9697(00)00681-1.
- [16] N. K. Sönmez and M. Sarı, "Uzaktan algılama temel prensipleri ve uygulama alanları," *Derim*, vol. 19, no. 2, pp. 16–30, 2002.
- [17] M. Gholizadeh, A. Melesse, and L. Reddi, "A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques," *Sensors*, vol. 16, no. 8, p. 1298, 2016, doi: 10.3390/s16081298.
- [18] R. G. Lathrop and T. M. Lillesand, "Use of thematic mapper data to assess water quality in Green Bay and Central Lake Michigan," *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, vol. 52, no. 5, pp. 671–680, 1986.
- [19] T. M. Lillesand, W. L. Johnson, and R. L. Deuell, "Use of landsat data to predict the trophic state of Minnesota lakes," *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, vol. 49, no. 2, pp. 219–229, 1983, [Online]. Available: http://eserv.asprs.org/PERS/1983journal/feb/1983_feb_219-229.pdf
- [20] Somvanshi.S, Kunwar.P, Singh.N.B, Shukla.S.P, and Pathak.V, "Integrated remote sensing and GIS approach for water quality analysis of Gomti river , Uttar Pradesh," *Int. J. Environ. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 62–75, 2012, doi: 10.6088/ijes.2012030131008.
- [21] I. Barut, H. Keskin-Citiroglu, M. Oruc, and A. M. Marangoz, "Determination by Landsat Satellite Imagery to Local Scales in Land and Pollution Monitoring: a Case of Buyuk Melen Watershed (Turkey)," *J. Sustain. Dev. Energy, Water Environ. Syst.*, vol. 3, no. 4, pp. 389–404, 2015, doi: 10.13044/j.sdewes.2015.03.0029.
- [22] C. B. Mouw *et al.*, "Aquatic color radiometry remote sensing of coastal and inland waters: Challenges and recommendations for future satellite missions," *Remote Sens. Environ.*, vol. 160, pp. 15–30, 2015, doi: 10.1016/j.rse.2015.02.001.
- [23] S. C. J. Palmer, T. Kutser, and P. D. Hunter, "Remote sensing of inland waters: Challenges, progress and future directions," *Remote Sens. Environ.*, vol. 157, pp. 1–8, 2015, doi: 10.1016/j.rse.2014.09.021.
- [24] K. Shi *et al.*, "Long-term remote monitoring of total suspended matter concentration in Lake Taihu using 250 m MODIS-Aqua data," *Remote Sens. Environ.*, vol. 164, pp. 43–56, Jul. 2015, doi: 10.1016/J.RSE.2015.02.029.
- [25] Z. Zhou and Y. Zhao, "Research on the water quality monitoring system for inland lakes based on remote sensing," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 10, no. PART B, pp. 1707–1711, 2011, doi: 10.1016/j.proenv.2011.09.268.
- [26] "Wikipedi," 2023. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ardahan>
- [27] V. O. Atak, M. Erdoğan, and A. Yılmaz, "Göktürk-2 Uydu Görüntü Testleri," *Harit. Derg.*, pp. 18–33, 2015.
- [28] *Su kirliliği kontrolü yönetmeliği numune alma ve analiz metodlar tebliği*. Türkiye, 2009.