



Dicle Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

mühendislikdergisi
journal of engineering

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
mühendislikdergisi
Cilt: 13, Sayı: 3, Eylül 2022 ISSN: 1309-8640

Dicle Üniversitesi Adına yayın Sahibi / Privilige Owner
Mehmet Sıraç ÖZERDEM

Baş Editör / Editor-in-Chief
Mehmet Sıraç ÖZERDEM

Alan Editörleri / Field Editors
İdris BEDİRHANOĞLU
Abdulkadir ALBAYRAK
Mehmet Sıraç ÖZERDEM
İbrahim KAYA
Hasan POLAT
Atilla Gencer DEVECİOĞLU
Muhammet Ali ARSERİM

Tasarım-Dizgi / Designing-Editing
Mesut ŞEKER

Yazışma Adresi

Mühendislik Dergisi, Koordinatörlük ve Yayın Bürosu,
Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 21280 Diyarbakır
Telefon : +90-412 241 10 00 (Dahili: 3637)
Elektronik posta : muhendislikdergisi@dicle.edu.tr
web : <http://dergipark.gov.tr/dumf>, <https://duje.dicle.edu.tr/journal/>

Dergide yayınlanan yazılar izinsiz başka bir yerde yayınlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz.

ISSN Basılı Materyal: 1309-8640
Online ISSN: 2146-4391

Hakem Listesi / Reviewers List

Dergimize yayınlanmak üzere gönderilmiş olan makaleleri titiz bir şekilde değerlendiren kıymetli hakem hocalarımıza, değerli katkılarından dolayı teşekkür eder, katkılarının devamını dileriz.

We greatly appreciate the contributions made by the scientists, who worked as reviewers for Dicle University Journal of Engineering (DUJE) and we expect their contributions to the following journal issues.

- Mesut Gör (Fırat Üniversitesi)
Aşkın Özocak (Sakarya Üniversitesi)
Ozan Okudan (YTU)
Arzu Er (Akdeniz Üniversitesi)
Atıl Bulu (Okan Üniversitesi)
Murat Emre Kartal (İzmir Demokrasi Üniversitesi)
Beytullah Temel (Çukurova Üniversitesi)
Mehmet Cihad Aydın (Bitlis Eren Üniversitesi)
Ahmet Elbir (YTU)
Nurullah Çalık (İstanbul Medeniyet Üniversitesi)
Özge Doğuç (İstanbul Medipol Üniversitesi)
Pınar Cihan (Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi)
Yusuf Çelik (Munzur Üniversitesi)
Kazım Hanbay (İnönü Üniversitesi)
Selim Börekçi (Akdeniz Üniversitesi)
Hasari Karcı (Harran Üniversitesi)
Özge Kart (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Hilal Arslan (Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)
Harun Kaman (Akdeniz Üniversitesi)
Nadire Üçler (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi)
Yücel Batu Salman (Bahçeşehir Üniversitesi)
Kevser Şahinbaş (İstanbul Medipol Üniversitesi)
Kenan Koran (Fırat Üniversitesi)
Muhammed Yasin Durgun (Bartın Üniversitesi)
Hasan Yıldırım (ITU)
Hasan Polat (Bingöl Üniversitesi)
Ayşegül Uçar (Fırat Üniversitesi)
Hasan Yıldırım (ITU)
Ömer Türk (Mardin Artuklu Üniversitesi)
Şengül Bayrak (İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi)
Tufan Doğruer (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi)
Taner Göktaş (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Okşan Çetiner (ITU)
Özgür Uğraş Baran (ODTU)
Muhammed Yasin Durgun (Bartın Üniversitesi)
Hasan Yıldırım (ITU)
Hakan Alıcı (Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi)
Abdullah Candan (Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi)
Mustafa Mikail Özçiloğlu (Kilis 7 Aralık Üniversitesi)
Mehmet Salih Keskin (DU)
Tamer Bağatur (DU)
Nizamettin Hamidi (DU)
Abdulkadir Albayrak (DU)
İdris Bedirhanoglu (DU)
Yurdağül Benteşen Yakut (DU)

İçindekiler / *Table of Contents*

Elektrik Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering

- Orta ve Küçük Ölçekli Rüzgar Türbinlerinin Yaşam Döngüsü Boyutunda Sürdürülebilirliği: Literatür Taraması (Derleme Makalesi)
Life Cycle Sustainability of Medium and Small-Sized Wind Turbines: Literature Review (Review Article)
Burçin Atılgan Türkmen **393**
- Karınca Koloni ve Genetik Algoritma Yöntemleri Kullanarak En İyi Sayaç Okuma Güzergâhının Tespit Edilmesi (Araştırma Makalesi)
Determining the Best Meter Reading Route Using Ant Colony and Genetic Algorithm Methods (Research Article)
Murat Taşyürek, Mehmet Erat **405**
- Migren tanısında öncü sinyal ayrıştırma yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılması (Araştırma Makalesi)
Comparison of Performance of Pioneering Signal Decomposition Methods in the Diagnosis of Migraine (Research Article)
Zülfikar Aslan **413**
- Gerçek Hayat Verileriyle Makine Öğrenmesi Algoritmalarına Dayalı Otobüs Durak Süresi Tahmini (Araştırma Makalesi)
Bus Stop Time Prediction Based on Machine Learning Algorithms with Real-Life Data (Research Article)
Kevser Şahinbaş **421**
- Kişisel Siber Güvenlik Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi (Araştırma Makalesi)
Evaluation of Personal Cyber Security Approaches (Research Article)
Muhammed Zekeriya Gündüz, Resul Daş **429**
- Akım Modlu Dördüncü Derece Fark Alıcı AB-Sınıfı Logaritmik Ortam Chebyshev Süzgeç Tasarımı (Araştırma Makalesi)
Current Mode Differential Type Fourth Order Class AB Log Domain Chebyshev Filter Design (Research Article)
Derya Barış Köroğlu, Ali Kırçay **439**
- Müşteri şikâyet yönetiminde firmaların performanslarının değerlendirilmesi: Kümeleme analizi incelemesi (Araştırma Makalesi)
Evaluation of firms' performances in customer complaint management: A cluster analysis examination (Research Article)
Gözde Ödev, Serhat Peker **447**
- Transfer Öğrenme Mimarileri Kullanılarak Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinden Covid-19'un Yüksek Doğrulukla Sınıflandırılması (Araştırma Makalesi)
High Accuracy Classification of Covid-19 from CT Images Using Transfer Learning Architectures (Research Article)
Fariq Al-Areqi, Mehmet Zeki Konyar **457**

Doğal dil işleme ve derin öğrenme algoritmaları ile makine dili modellemesi (Araştırma Makalesi) <i>Modelling the machines' language with natural language processing and deep learning algorithms (Research Article)</i> Ali Dayan, Atınç Yılmaz	467
Gemi jeneratörlerinin senkronizasyonu üzerine bir benzetim çalışması (Araştırma Makalesi) <i>A simulation study on the synchronization of ship generators (Research Article)</i> Durukan Erdoğan, Kenan Yiğit, Faruk Aydın, Borca Acarkan	477
MR görüntülerinden Alzheimer tespitinde boyut azaltma ve derin öğrenme yaklaşımlarının karşılaştırılması (Araştırma Makalesi) <i>Comparison of dimension reduction and deep learning approaches to detect Alzheimer from MR images (Research Article)</i> Ömer Türk	485
Farklı dillerdeki metinler üzerinde yapılan duygu analizi çalışmalarının incelenmesi (Derleme Makalesi) <i>Analysis of sentiment analysis studies on texts in different languages (Review Article)</i> Seda Kılıçer, Ruya Samli	493
An application for the PID-based optimizer loop: Estimation of the annual production regression models of Malatya's apricot (Research Article) Furkan Nur Deniz	511
Hibrit yenilenebilir enerji sistem tasarımı: Balıkesir örneği (Araştırma Makalesi) <i>Hybrid renewable energy system design: The case of Balıkesir (Research Article)</i> İpek Atik, Ayşenur Sekin	517
RF enerji hasatlama için 915 MHz taşıyıcı frekansında mikroşerit anten tasarımı ve uygulaması (Araştırma Makalesi) <i>Design and implementation of microstrip antenna at 915 MHz carrier frequency for RF energy harvesting (Research Article)</i> Hussein Yousefalturk, Mustafa Cansız	531

Makina Mühendisliği / Mechanical Engineering

Electronic Behavior and Optical Properties of New Ferromagnetic Silver-Based Sulfo-spinel: AgV ₂ S ₄ (Research Article) Buğra Yıldız, Aytaç Erkişi	541
--	------------

İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering

İnşaat Mühendisliği Uygulamalarında Hücresel Dolgu Sistemlerinin Kullanımı (Derleme Makalesi) <i>Usage Of Cell Filling Systems In Civil Engineering Applications (Review Article)</i> Mehmet Hayrullah Akyıldız, Kübra Adar, Sena Sevimli Özdemir	551
---	------------

Determining the Factors Affecting the Productivity in Construction Projects (Research Article) Murat Çevikbaş	557
Simetrik Akarsu Kavşaklarında Akım Derinliklerinin İncelenmesi (Araştırma Makalesi) <i>Investigation of Flow Depths at Symmetrical Confluences (Research Article)</i> Mustafa Eyhan, Cihan Canıbek, Gökçen Bombar, Antonio Heleno Cardoso	563
A Practical Approach to Implement Releases and Partial Fixities in Finite Elements Using Already Existing Stiffness Equations (Research Article) Murat Yılmaz	571
Batman Barajının yıkılma analizi ve baraj güvenliği açısından değerlendirilmesi (Araştırma Makalesi) <i>Failure analysis of Batman Dam and evaluation in terms of dam safety (Research Article)</i> Hüseyin Efe, Fevzi Önen	579
Estimation of Daily Average Global Solar Radiation with Nonlinear Regression Models Developed Using Some Meteorological and Geographical Parameters (Research Article) Selçuk Usta, Cafer Gençoğlan, Serpil Gençoğlan	589
Bentonitin kireç ve tuf ile stabilizasyonu sonrasında meydana gelen dokusal değişimlerin Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) Spektroskopisi yöntemi ile incelenmesi (Araştırma Makalesi) <i>Investigation of the textural changes after the stabilization of bentonite with lime and tuff by Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy method (Research Article)</i> Yasemin Aslan Topçuoğlu, Zülfü Gürocak	599
Agrega Tane Boyut Dağılımı ve PP Lif Kullanımının Betonda Plastik Rötne Çatlağı Oluşumu Üzerine Etkileri (Araştırma Makalesi) <i>Effects of Aggregate Particle Size Distribution and Use of PP Fiber on the Plastic Shrinkage Cracking in Concrete (Research Article)</i> Hasan Nuri Türkmenoğlu, Hakan Nuri Atahan	611
Comparison of lightweight and normal-weight aggregate concrete (Research Article) Hatice Çiçek, İsmail Ağa Gönül	619
Türbülans Yoğunluğunun Geçiş Yer Tahminine Etkisinin Bölgesel Korelasyon Geçiş Modeli ile İncelenmesi (Araştırma Makalesi) <i>Effect of Turbulence Intensity on Transition Location Estimation Using Local Correlation Transition Model (Research Article)</i> Hediye Atik	627
Farklı Su/Bağlayıcı Oranına Sahip Betonlarda Nano Silika ve Granüle Yüksek Fırın Cürufu Kullanımının Mekanik ve Elastik Özellikler Üzerine Etkisi (Araştırma Makalesi) <i>The Effect of Using Nano Silica and Granulated Blast Furnace Slag on Mechanical and Elastic Properties in Concretes with Different Water/Binder Ratios (Research Article)</i> Hasan Nuri Türkmenoğlu, Esen Önder, Hakan Nuri Atahan	635

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (DÜMF) Mühendislik Dergisi yayınlarında varılan sonuçlar veya fikirlerin sorumluluğunu taşımamaktadır. Üniversite'nin, bu yayında ileri sürülen bilgi, alet, ürün veya işlevin doğruluğu, bütünlüğü, uygunluğu ve kullanılabilirliği konusunda bir yüklenimi ve iddiası bulunmamaktadır. Bu nedenle herhangi bir şekilde sorumlu tutulamaz.

Bu yayının herhangi bir kısmı, mühendislik dergisinin yazılı izni olmadıkça kaynak gösterilmeden yayınlanamaz, bilgi saklama sistemine alınamaz veya elektronik, mekanik, fotokopi, kayıt veya başka sistemlerle çoğaltılamaz.



Orta ve Küçük Ölçekli Rüzgar Türbinlerinin Yaşam Döngüsü Boyutunda Sürdürülebilirliği: Literatür Taraması

Life Cycle Sustainability of Medium and Small-Sized Wind Turbines: Literature Review

Burçin ATILGAN TÜRKMEN^{1*}

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, burcin.atilganturkmen@bilecik.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3220-3817>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 6 Ocak 2022
Revizyon 1 Ağustos 2022
Kabul 1 Ağustos 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

*Yaşam döngüsü analizi,
Rüzgar türbini,
Küçük ölçekli rüzgar türbinleri,
Sürdürülebilirlik,
Çevresel etki*

ÖZ

Son yıllarda yenilenebilir enerji sistemlerine olan ilginin artmasıyla birlikte küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin sürdürülebilirliği konusunda çalışmalar yayınlanmıştır. Bu çalışmada, yaşam döngüsü değerlendirilmesi yöntemiyle orta ve küçük ölçekli rüzgar enerji sistemlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik yapılan bilimsel çalışmaların derlenmesi amacıyla bir literatür araştırması yapılmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirilmesi enerji sistemlerinin çevresel sürdürülebilirliğini değerlendirmek ve bu alandaki kararlar ve politikalar bağlamında giderek daha önemli hale gelen bir yöntemdir. Bu araştırmada öncelikle orta ve küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin yaşam döngüsü boyutunda çevresel etkileri konularında 2004 yılından bu yana yapılmış olan çalışmalar taranmıştır. Bu çalışmaların çoğunluğu yalnızca dar bir gösterge aralığı göz önüne alınarak çevresel değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Daha geniş bir çevresel etki yelpazesini dikkate alan az sayıda çalışma vardır. Orta ve küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin yaşam döngüsü çevresel sürdürülebilirliklerini analiz eden çalışmaların derlenerek irdelenmesi küçük ölçekli enerji üretim sistemlerinin gelecek vizyonunun belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 January 2022
Received in revised form 1 August 2022
Accepted 1 August 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

*Life cycle assessment,
Wind turbine,
Small scale energy systems,
Sustainability,
Environmental impact*

ABSTRACT

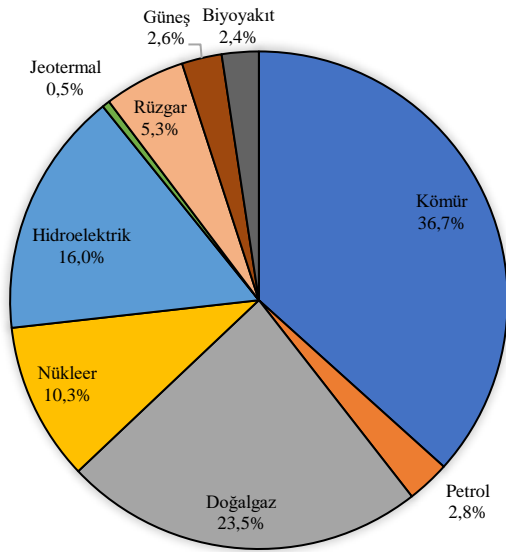
With the growing interest in renewable energy systems, studies on the sustainability of small-scale wind turbines have been published in recent years. A literature review was conducted in this study to compile scientific studies conducted to evaluate the environmental effects of medium and small-sized wind energy systems using the life cycle assessment. Life cycle assessment is a method of evaluating the environmental sustainability of a product, process, or system that is becoming more important in the context of decisions and policies in the energy sector. The environmental effects of medium and small-sized wind turbines on the life cycle size have been investigated in this study, which looked at studies conducted since 2004. The vast majority of these studies conducted environmental sustainability assessments based solely on a few environmental impact indicators such as global warming potential. There are only a few studies that consider a wider range of environmental effects. The collection and analysis of studies examining the life cycle environmental sustainability of medium and small-scale wind turbines are important for determining the future vision of small-scale energy production systems.

Doi: 10.24012/dumf.1054061

* Sorumlu Yazar

Giriş

Yaşamın ekonomik, sosyal ve teknolojik gelişiminin en temel ihtiyaçlarının başında enerji gelmektedir. Artan nüfus, hızlı sanayileşme ve kentleşmeden dolayı oluşan enerji gereksinimi dünyanın kısıtlı ve tükenmekte olan enerji kaynaklarıyla karşılanamamakta ve buna bağlı olarak enerji üretimi ve tüketimi arasındaki açık gün geçtikçe artmaktadır. Şekil 1'de gösterildiği gibi 2019 yılında küresel elektrik üretiminin neredeyse üçte ikisi (%63,3) fosil yakıtlardan sağlanırken düşük karbonlu kaynaklardan elde edilen %36,7'lik oranın %26,3'ünü yenilenebilir enerji, %10,4'ünü ise nükleer enerji oluşturmaktadır [1].



Şekil 1. Kaynaklarına göre küresel enerji üretimi, 2019 [1].

Fosil yakıtlara olan yüksek ihtiyaçtan dolayı enerjinin nasıl üretildiği ve kullanıldığı konusundaki zorluklar küresel boyuttaki en büyük sorunlardan biridir. Enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtların karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve diazot monoksit (N₂O) gibi sera gazı emisyonlarını yoğun biçimde atmosfere salması küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine sebep olmaktadır [2]. Ayrıca bu kaynakların sınırlı miktarda kalmaları ve gelecekte tükenecek olmaları, insanları tükenmeyen alternatif enerji üretim yollarına yöneltmiştir [3].

Yenilenebilir enerji, günümüzdeki artan enerji ihtiyacının yerli ve doğal kaynaklarla karşılanarak sürdürülebilir enerji kullanımının sağlanması ve enerji tüketimi sonucunda oluşan çevresel etkilerin en aza indirilmesi açısından önemli bir yere sahiptir. Doğal kaynaklardan elde edilebilen ve tükenmeyen yenilenebilir enerji kaynakları başlıca güneş, hidroelektrik, rüzgar, jeotermal, biyokütle, dalga ve hidrojen enerjileri olarak sınıflandırılmaktadır [4]. Bunlar arasında hızlı gelişen ve tükenmekte olan fosil kaynaklarla rekabet edebilen enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri rüzgar enerjisidir.

Rüzgar Enerjisi

Rüzgar, güneş enerjisinin dolaylı şeklidir. Bu enerji türü sürekli olarak güneş tarafından yenilenir ve yer yüzeyinin güneş tarafından ısıtılmasından kaynaklanır. Rüzgar enerjisi çevre dostu, enerji güvenliğini sağlayabilecek ve fosil yakıtlara dayanan geleneksel enerjiye bir alternatiftir. Rüzgar enerjisi elektrik üretiminde önemli bir role sahiptir. Rüzgar santralleriyle üretilen elektriğin miktarı da her geçen gün artmaktadır [5].

Rüzgar çevre dostu ve tükenmeyen bir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere rüzgar türbinleri denir. Bu sistemler rüzgardaki kinetik enerjiyi ilk önce mekanik enerjiye sonrasında ise elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir [6].

Rüzgar türbinleri temel olarak kuruldukları yere, güçlerine, kanat sayılarına, dönme eksenlerine, devirlerine ve dişli özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Rüzgar türbinleri karada ve deniz üstünde kurulabilirler. Karada kurulan rüzgar türbinlerinin kurulumu daha kolay ve maliyeti deniz üstünde kurulan rüzgar türbinlerine kıyasla daha azdır. Rüzgar türbinleri dönme eksenine göre yatay eksenli rüzgar türbinleri, düşey eksenli rüzgar türbinleri, eğik eksenli türbinler olarak üç gruba ayrılırlar. Yatay eksenli rüzgar türbinleri en çok kullanılan türdür. Bu rüzgar türbinlerinde dönme eksenini rüzgar yönüne paralel olurken kanatlar ise rüzgar yönüne diktir. Düşey eksenli rüzgar türbinleri ise rüzgarı tam tersi yönde yakalayan iki ya da üç kanatlı düşey pervaneden oluşmaktadır [7, 8]. Düşey eksenli rüzgar türbinlerinin avantajları, jeneratörün zemin seviyesinde bulunması ve kuleye ihtiyaç duyulmamasıdır. Düşük rüzgar hızı ve verim ise eksi yönleridir. Yatay eksenli rüzgar türbinleri ise yüksek rüzgar hızından dolayı daha verimlidir. Düşey eksenli rüzgar türbinleri düşük rotor veriminden ötürü tercih edilmemektedir [8, 9].

Bir rüzgar türbini genel olarak jeneratör, kule, elektrik ekipmanları, dişli kutuları, pervane kanadı ve gövdesi (rotor) ile temelden oluşur. Rüzgarın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye dönüştürülürken rotor milinin dönme hareketi ile gövdede bulunan jeneratöre aktarılır. Jeneratör kısmından elde edilen enerji ise akülerle depolanarak veya doğrudan elektrik alıcılarına iletilir [7, 10].

Küçük Ölçekli Rüzgar Türbinleri

Büyükliklerine göre rüzgar türbinlerinin net bir sınıflandırılması yapılmamıştır. Genel olarak kabul edilen sınıflandırmada ise güçleri 10 kW'ın altında olanlar mikro, 10-100 kW arasında olanlar küçük ölçekli, 100-1000 kW arasında olanlar orta ölçekli ve gücü 1000 kW'ın üzerinde olanlar ise büyük ölçekli rüzgar türbinleri olarak kabul edilmektedir [11]. Büyük ölçekli rüzgar türbinleri için üretilen elektriğin şebekeye iletilmesi için gerekli olan altyapının oluşturulması, uzun süren rüzgar ölçümlerinin yapılması, türbinlerin konulacağı alanların belirlenmesi ve yatırım aşamaları için çok detaylı çalışma yapılması gerekmektedir. Ayrıca şebeke elektriğinin hiç olmadığı ya da elektriğin götürülmesinin çok büyük maliyetler oluşturduğu yerler için küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin kurulumu elverişli olmaktadır. Bunların yanında bazı bölgeler,

ortalama rüzgar hızları ve elektrik üretim miktarları gibi teknik alanlarda elverişli olmalarına karşın, tarım, sanayi veya yerleşim yerlerinde bulunduğu buralarda büyük ölçekli rüzgar türbinlerinin kurulması uygun olmamaktadır. [12, 13].

Küçük ölçekli rüzgar türbinleri yenilenebilir enerji kullanımını sağlayarak sera gazı emisyonlarını azaltma ve fosil yakıtlardan tasarruf etme potansiyeline sahiptir. Bu tür enerji üretimi yerel enerji temini sağlayarak enerji maliyetlerini düşürür. Ayrıca, enerji tüketim noktasına yakın bir yerde üretilerek, merkezi üretim tesislerinden enerji iletimiyle ilişkili enerji kayıplarını azaltmasını sağlamaktadır [14]. Küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin en büyük dezavantajlarından biri sorun yetersiz enerji üretimi nedeniyle enerji talebini tam olarak karşılayamamalarıdır [15].

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) bir ürünün, sürecin ya da hizmetin bütün yaşam döngüsü boyunca “beşikten mezara” çevresel etkilerini detaylı olarak analiz eden sistematik ve kapsamlı bir yöntemdir [16]. Bu yöntem, hammaddesinin çıkarılması, işlenmesi, ambalajlanması, taşınması, üretimi, kullanımı, bakım ve onarımı, ömrünü doldurduğunda atılması, yeniden kullanılması ya da geri dönüştürülmesi basamaklarını yani hammaddenin doğada eldesinden, tüm atıklar tekrar doğaya dönene kadar yaşam döngüsündeki tüm aşamalarda girdi ve çıktıları içermektedir. Bu yaşam döngü basamaklarındaki enerji, su ve madde girdilerinin ve açığa çıkan emisyon ve atıkların envanterleri oluşturularak bir arada değerlendirilir, ürün, süreç veya hizmetin potansiyel çevresel etkileri hesaplanır ve tüm detayları göz önünde bulundurularak düzenli olarak iyileştirme olanağı sunar [17, 18].

YDD, son yıllarda gittikçe sık kullanılan çevresel etki değerlendirme metodu olarak birçok ürün, sistem veya servis için geniş uygulama alanına sahiptir. Bu analiz yöntemi planlama, kamuda politikalar ve performans göstergeleri oluşturma, üretimde sürdürülebilirlik açısından ürün ve süreçlerin değerlendirilip iyileştirme için alternatiflerin ve olanakların belirlenmesi, ürün geliştirilip planlanması, stratejik karar verme ve eko-tasarım aşamalarında kullanılmaktadır [17, 18].

ISO 14040 ve 14044 serisi [19, 20], Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmaları için gerçekleştirilme ve bildirilmesine yönelik kapsamı, prensipleri ve gereklilikleri belirtmektedir. Şekil 2’de gösterildiği bu standart serisi ile yürütülen YDD yöntemi temel olarak dört basamaktan oluşmaktadır; amaç ve kapsam tanımlama, yaşam döngüsü envanter analizi, yaşam döngüsü etki analizi ve sonuçların yorumlanmasıdır.

Amaç ve Kapsam Tanımı

YDD çalışmasının ilk aşaması çalışmasının amacı, kapsamı, sınırları ve detay düzeyi tanımlanmasıdır. Çalışmanın kapsamı tanımlanırken sistem ve sınırları (enerji, su ve hammadde girdileri, emisyon, yan ürün ya da ürün çıktıları,

üretim, ulaşım, atık yönetimi, yeniden kullanma ya da geri dönüşüm gibi işlemler), veri ihtiyaçları ve tahminler belirtilmektedir. Ayrıca YDD çalışması için çok önemli öge olan fonksiyonel birim bu basamakta tanımlanmaktadır [21].

Envanter Analizi

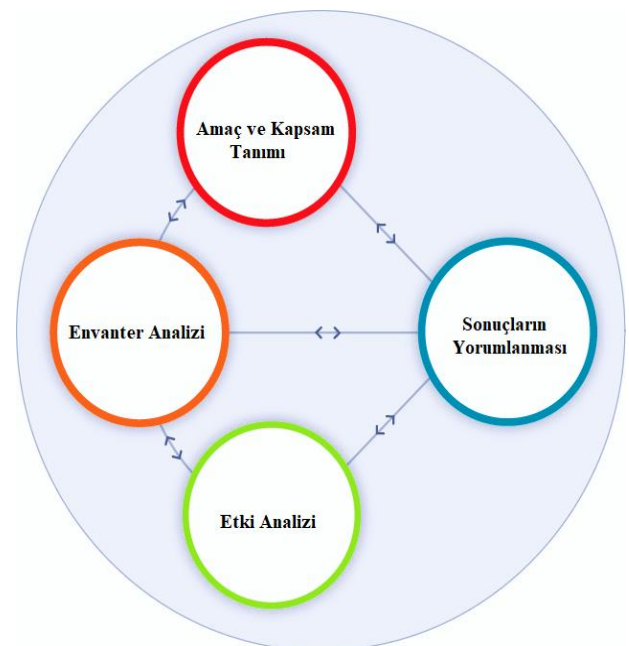
YDD yönteminin ikinci aşamasında çalışılan sistem sınırları için su, enerji ve hammadde gibi girdiler ve açığa çıkan katı, sıvı ve gaz çıktıları tespit edilir. Sisteme ait modellemenin temeli olan proses akış diyagramları bu basamakta oluşturulur. Envanter analizi oluşturabilmek için mümkün olan en güvenilir kaynaktan verilerin derlenip toplanması gerekir. Elde edilen ya da hesaplanan veriler kullanılırken veri kalitesinin de analiz edilmesi gerekebilmektedir [22].

Etki Değerlendirmesi

Bu kısım yaşam döngüsü çevresel etki değerlendirmesinin üçüncü basamağını oluşturmaktadır. Bu basamakta yaşam döngüsü boyutunda hazırlanan enerji, su, hammadde kullanımı gibi verilerin potansiyel çevre etkileri değerlendirilir [23].

Sonuçların Yorumlanması

YDD çalışmasının son aşamasıdır. İkinci basamak olan envanter analizi ile üçüncü basamak olan etki değerlendirme aşamaları sonucunda elde edilenler değerlendirilerek tercih edilecek ürün, süreç ya da hizmet belirlenir. Bu aşamada çalışmadaki belirsizlikler yaşam döngüsü analizi kapsamında açıkça yer alır. Hangi basamakta (hammadde eldesi, üretim, atık yönetimi gibi) gerçekleştirilecek iyileştirmeler ve çevresel sürdürülebilirliğin artırılabilceği bu aşamada tartışılır [22].



Şekil 2. YDD Metodu [19, 20].

Rüzgar Enerjisi ve Sürdürülebilirlik

İlk kez Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından 1987 yılında hazırlanan Brundtland Raporu ile ortaya atılan sürdürülebilir kalkınma kavramı bugünün gereksinimlerini karşılarken gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılaya yeteneğinden ödün vermeden karşılamayı temel alan kalkınma olarak tanımlanmıştır. Sürdürülebilir kalkınma; birbiri ile ayrılmayan sosyal, ekolojik ve ekonomik olmak üzere üç boyutu olan bir kavramdır. Sürdürülebilir kalkınmanın temelinde çevreyi ve doğal kaynakları korumak, yaşam kalitesini artırmak, temiz ve tükenmeyen enerji kaynaklarını kullanmak gibi ilkeler yer almaktadır [24].

Sürdürülebilir enerji sağlama bugün dünyada çözülmesi gereken en önemli küresel problemlerin başında gelmektedir. Sürdürülebilir kalkınma politikalarının temelinde enerjinin etkin kullanımı, geri dönüşüm, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ile birlikte üretim ve tüketim alışkanlıklarının değiştirilmesi bulunmaktadır. Artan nüfus, hızlı şehirleşme ve sanayileşme ve enerji üretiminde kullanılan kaynakların tükenebilir olması ve fosil kaynakla enerji üretiminin gelecek için sürdürülebilirlik açısından tehlike oluşturması nedeni ile yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi için alternatif enerji kaynakları büyük önem taşımaktadır [25].

Yenilenebilir enerji, devamlı var olan, kendini yenileyebilen ve gelecek için tehlike oluşturmayan bir enerji elde etme çeşididir. Bu enerji kaynakları ile enerji üretimi daha az yakıt ya da hammadde maliyeti gerektirmektedir. Fosil kaynakların kullanımı ile oluşan gazların sera etkisi oluşturması ve atmosfer sıcaklığını yükselttiği için sıcaklıkları değiştirip küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Fosil enerji üretim teknolojilerinin bu olumsuz etkileri ve kaynak olarak her geçen gün tükenmelerinden dolayı kendini yenileyebilen ve çevreye daha az zarar veren enerji teknolojilerinin kullanımını zorunlu hale getirmektedir [25].

Rüzgar enerjisi kaynağının temelini güneşin oluşturduğu temiz ve tükenmeyen bir enerji çeşididir. Güneşin yeryüzünü farklı ısıtmasıyla oluşan basınç ve hava akımının yer değiştirmesiyle birlikte rüzgar oluşmaktadır. Yakıt gerektirmeyen rüzgar enerjisi ile elde edilen enerji güvenliğinin sağlanması açısından büyük öneme sahiptir [26].

Rüzgar türbinlerinin bakım ve işletme aşamalarının ekonomik yükü diğer enerji teknolojilerine göre düşüktür ve bu durum rüzgar enerjisini önemli hale getirmektedir. Rüzgar ile enerji üretimi sırasında atmosfere zararlı gaz salınımı olmamaktadır [27]. Kurulumu diğer yenilenebilir enerji teknolojilerinden kolay olan bu enerji türü diğer enerji üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında ortaya çıkan dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlardan en önemlisi türbinlerin dönmesi ile oluşan gürültü kirliliği yani çevreye yayılan ses ve titreşimdir. Oluşan gürültü kirliliğinden dolayı rüzgar türbinleri yerleşim yerinin olmadığı ya da yükseltti farklılıklarından dolayı gürültünün daha az hissedildiği yerlere kurulmaktadır. Diğer bir dezavantaj ise rüzgar türbinleri çok geniş yer kaplamaktadır ve çok fazla metal, plastik ve beton kullanılarak inşa edilmektedir. Bu yüzden

günümüzde kullanılan rüzgar türbinlerinin geri dönüştürülebilir malzeme ile üretilmesi sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda bu enerji üretim yönteminin çalışması esnasında kuş ölümleri meydana gelmektedir. Bütün bunlar sürdürülebilirlik açısından büyük sorun yaratmaktadır [8, 27].

Küçük Ölçekli Rüzgar Türbinlerinin Yaşam Döngüsü Sürdürülebilirliği Çalışmaları

Rüzgar enerjisinin sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla orta ve küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin enerji, su ve hammadde kullanımı ile birlikte üretim sonunda oluşan emisyon ve atıkları ve bunların çevreye etkileri ile ilgili çalışmalar literatürde bulunmaktadır. YDD bu girdi ve çıktılarını detaylı olarak değerlendirilip sistematik olarak ortaya konulduğu bir yöntem olarak bu çalışmalarda kullanılmıştır. Bu çalışmada öncelikle orta ve küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin yaşam döngüsü boyutunda çevresel etkileri konularında 2004 yılından bu yana yapılmış olan çalışmalar ve yayınlanan makaleler taranmıştır.

Tablo 1’de belirtildiği gibi yayınlanan çalışmalarda farklı ülkelerde bulunan değişik kurulu güce sahip olan rüzgar türbinleri araştırılmıştır. Bu çalışmalarda değişen yaşam döngüsü sınırları içerisinde farklı varsayımlar ve metodolojiler kullanılmıştır. Çalışmanın amacı ve kapsamına uygun olarak farklı çevresel etki kategorileri değerlendirilmiştir.

Lenzen and Wachsmann [28] rüzgar türbine göre 500 ya da 600 kW büyüklükteki rüzgar türbininin farklı ülkelerde üretilip kurulmasını modelleyip incelemişlerdir. İlk senaryoda rüzgar türbininin Almanya’da üretilmesi ve kurulması, ikinci senaryoda Almanya’da üretilmesi ve Brezilya’da kurulması, sonraki senaryoda jeneratör ve nasel parçalarının Almanya’da üretilmesi, diğer parçaların Brezilya’da üretilmesi ve türbinin Brezilya’da kurulması, dördüncü senaryoda türbininin Brezilya’da üretilmesi ve kurulması ve son senaryoda ise rüzgar türbininin Brezilya’da yüksek geri dönüşüm oranına sahip çelik kullanılarak üretilip kurulması incelenmiştir. Rüzgar türbin elemanlarının enerji tüketimlerinin %30-40 oranında kule, %25-30 oranında ise jeneratör tarafından olduğu belirtilmiştir. Aynı şekilde naselde kullanılan bakırın da çevreye olan olumsuz etkilerinin fazla olduğunun altı çizilmiş fakat bu malzemenin geri dönüşümünün sağlanabilmesinden dolayı çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, seçilen rüzgar türbini sisteminin aynı miktarda enerji üreten konvansiyonel güç santrallerine oranla çevresel etkilerde etki kategorisine göre %89 ile %99 arasında azalma sağladığı hesaplanmıştır.

Tablo 1: Küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin yaşam döngüsü analizi çalışmaları

Çalışma	Ülke	Türbin Boyutları	Sistem Sınırları	Çevresel Etki Kategorileri
Lenzen and Wachsmann [28]	Almanya ve Brezilya	0.5 MW ve 0.6 MW	Hammadde eldesi ve prosesleri, ulaşım, türbin üretimi, kurulumu ve elektrik üretimi	Kümülatif enerji talebi, karbondioksit emisyonu
White [29]	Amerika	0,345 MW, 0,75 MW ve 0,60 MW	Hammadde eldesi ve prosesleri, ulaşım, türbin üretimi, kurulumu ve bakımı, elektrik üretimi, sökümü ve atık yönetimi	Geri ödeme süresi, karbondioksit emisyonu
Peacock, et al. [30]	Birleşik Krallık	0,4 kW, 0,6 kW, 1,5 kW ve 2,5 kW	-	Karbondioksit emisyonu, ekonomik göstergeler
Ardente, et al. [31]	İtalya	660 kW rüzgar tarlası	Hammadde eldesi ve prosesleri, ulaşım, türbin üretimi, kurulumu ve bakımı, elektrik üretimi, sökümü ve atık yönetimi	Kümülatif enerji talebi, katı atıklar, hava ve su emisyonları
Tremeac and Meunier [32]	Fransa	250 kW ve 4,5 MW	Hammadde eldesi ve prosesleri, ulaşım, türbin üretimi, kurulumu ve bakımı, elektrik üretimi, sökümü ve atık yönetimi	Geri ödeme süresi, yoğunluk endeksi
Crawford [33]	Avusturalya	850 kW ve 3 MW	Türbin üretimi, kurulumu, bakımı ve elektrik üretimi	Gömülü enerji, yıllık enerji üretimi, sera gazı emisyonları
Fleck and Huot [34]	Kanada	400 W	Hammadde eldesi ve prosesleri, türbin üretimi ve kurulumu, elektrik üretimi	Sera gazı emisyonları
Kabir, et al. [35]	Kanada	5 kW, 20 kW ve 100 kW	Hammadde eldesi ve prosesleri, ulaşım, türbin üretimi, kurulumu ve bakımı, elektrik üretimi, sökümü ve atık yönetimi	Geri ödeme süresi, küresel ısınma, asidifikasyon ve ozon tabakası tükenmesi

Greening and Azapagic [36]	Birleşik Krallık	6 kW	Hammadde eldesi ve prosesleri, ulaşım, türbin üretimi, kurulumu ve bakımı, elektrik üretimi, sökümü ve atık yönetimi	Abiyotik kaynakların tükenmesi fosil / fosil olmayan, asidifikasyon, ötrofikasyon, tatlı su ekotoksitesitesi, küresel ısınma, insan toksitesitesi, deniz suyu ekotoksitesitesi, ozon tabakası tükenmesi, fotokimyasal ozon oluşturma, kara ekotoksitesitesi
Brandoni, et al. [37]	İtalya	Enerji Planı	Türbin üretimi, kurulumu, elektrik üretimi	Birincil enerji tüketimi, karbondioksit emisyonu
Glassbrook, et al. [38]	Tayland	400 W, 2,5 kW, 5 kW, 20 kW	Hammadde eldesi ve prosesleri, ulaşım, türbin üretimi, kurulumu ve bakımı, elektrik üretimi, sökümü ve atık yönetimi	Yıllık enerji üretimi,
Wang and Teah [39]	Tayvan	600 W	Hammadde eldesi ve prosesleri, ulaşım, türbin üretimi, kurulumu ve bakımı, elektrik üretimi, sökümü ve atık yönetimi	Gömülü enerji, geri ödeme süresi, yıllık enerji üretimi
Troullaki, et al. [40]	Yunanistan	900 W	Hammadde eldesi ve prosesleri, ulaşım, türbin üretimi, kurulumu ve bakımı, elektrik üretimi, sökümü ve atık yönetimi	Kümülatif enerji talebi, abiyotik kaynakların tükenmesi, asidifikasyon, ötrofikasyon, küresel ısınma
Kouloumpis, et al. [41]	Polonya	5 kW	Hammadde eldesi ve prosesleri, ulaşım, türbin üretimi, kurulumu ve bakımı, elektrik üretimi, sökümü ve atık yönetimi	Abiyotik kaynakların tükenmesi fosil / fosil olmayan, asidifikasyon, ötrofikasyon, tatlı su ekotoksitesitesi, küresel ısınma, insan toksitesitesi, deniz suyu ekotoksitesitesi, ozon tabakası tükenmesi, fotokimyasal ozon oluşturma, kara ekotoksitesitesi

White [29] çalışmasında Amerika'da bulunan 0.345 MW, 0.75 MW ve 0.60 MW boyutlarındaki üç rüzgar türbininin yaşam döngüsü net enerji ve karbondioksit (CO₂) emisyonunu analiz etmiştir. Analiz edilen bu üç rüzgar santralinin rüzgar kaynağı ve kapasite faktörü, ekonomi ölçekleri ve malzeme kullanımı gibi faktörlere bağlı olarak geniş ölçüde değişen enerji geri ödeme oranlarına sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca rüzgar santrallerinin yaşam döngüsünde CO₂ emisyonlarının en çok malzeme üretiminden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler enerji geri ödeme oranı ve CO₂ emisyonu analiz sonuçları, verimli ve düşük karbonlu enerji karışımıyla ilgili politikalar için yararlı veriler sağlamıştır.

Peacock, et al. [30] yaptıkları çalışmada küçük ölçekli rüzgar türbinlerini CO₂ emisyonlarını azaltmanın alternatif bir metodu olarak enerji verimliliği bağlamında incelemişlerdir. Belirli kabul ve parametreler doğrultusunda türbinin kurulum maliyetini ve amorti etme süresini hesaplayarak bu konuda ilk kurulum aşamasında belirli bir ekonomik teşvik sağlamanın gerekli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin CO₂ salımını azalttığını sonucuna varmışlardır.

Ardente, et al. [31] Sicilya'da kurulu 660 kW kapasiteli 11 adet türbin içeren bir rüzgar tarlasının enerji performansını ve çevresel etkilerini incelemiştir. Ele alınan bu rüzgar tarlasından bir yılda üretilen elektrik 10,5 ile 16.400 GWh olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın fonksiyonel birimil kWh elektrik üretimi ve sonrasında müşterilere dağıtımınıdır. Elde edilen sonuçlar türbin imalatının, kurulum işlemlerinin ve nakliye gereksinimlerinin sırası ile yaklaşık %61, %33 ve %7 oranlarında enerji gereksinimlerinin olduğu hesaplanmıştır. Bu çalışma bir rüzgar çiftliğinin neden olduğu en büyük çevresel etkilerin esas olarak rüzgar türbinlerinin üretimi ve inşaat işlerinden kaynaklandığını göstererek bu etkilerin teme olarak havaya olan emisyonlar, katı atıklar ve az miktarda oluşan atık yağlardan kaynaklandığı vurgulanmıştır. Ayrıca CO₂ emisyonlarının 8,8-18,5 g/kWh değer aralığına sahip olduğu bulunmuştur.

Tremeac and Meunier [32] araştırmalarında 4,5 MW ve 250 kW boyutlarındaki iki rüzgar türbini için yaşam döngüsü çevresel etki değerlendirmesi yapmışlardır. Türbinlerin Fransa'nın güneyinde yer aldığı düşünülmüştür. Yaşam döngüsü değerlendirmesi için sistem sınırlarını üretim, nakliye, kurulum, bakım, söküm ve bertaraf olarak belirlemişlerdir. Çalışmada etki değerlendirme yöntemi olarak Impact 2002+ seçilmiştir. Çalışmanın sonuçları 4,5 MW rüzgar türbini, yaşam döngüsünde yaklaşık 70 TJ birincil enerji tüketirken toplamda 11,7 GWh elektrik üretmektedir. Bu veri 250 kW rüzgar türbini için 2.8 GJ toplam tüketim ve 2 MWh elektrik üretimi şeklindedir. Küresel ısınma potansiyeli sonuçları 4,5 W ve 250 kW rüzgar türbinleri için sırasıyla 15,8 g CO₂/kWh ve 46,4 g CO₂/kWh olarak bulunmuştur. Bu çalışma, rüzgar enerjisinin iklim değişikliğini azaltmanın ve şebekeye bağlı olmayan kırsal bölgelerde

elektrik sağlamanın en iyi yollarından biri olduğunu vurgulamaktadır.

Crawford [33] çalışmasında 850 kW ve 3 MW kapasiteli iki rüzgar türbinini sera gazı emisyonları, enerji gereksinimleri ve enerji verimleri yönünden karşılaştırmıştır. Türbinlerin güneybatı Avustralya kıyılarında kurulduğu varsayılmıştır. Rüzgar türbinlerinin ömrü kabul edilen 20 yıl boyunca çalışmaları sonucu atmosfere verilmesi önlenecek emisyonlar 850 kW kapasiteli türbin için 35.265 ton CO₂-eşdeğer (eşd.), 3 MW kapasiteli türbin için 122.961 ton CO₂-eşd. olarak belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar türbin büyüklüğünün yaşam döngüsü enerji performanslarını optimize etmek için önemli bir faktör olmadığı bulunmuştur.

Fleck and Huot [34] araştırmalarında küçük rüzgar türbinleri ve geleneksel içten yanmalı sistemlerin çevresel etkilerini, net enerji girdilerini ve yaşam döngüsü maliyetini karşılaştırmak için yaşam döngüsü yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmada CO₂, CH₄ ve N₂O dahil sera gazı emisyonlarını şebekeden bağımsız küçük bir eve aynı miktarda enerji sağlayan iki sistemin yaşam döngüsü boyunca hesaplanmıştır. Fonksiyonel birim olarak yirmi yıllık bir süre boyunca her ay 162 kWh elektrik enerjisinin şebekeden bağımsız olarak bir eve elektrik sağlması olarak seçilmiştir. Sonuçlar, küçük ölçekli rüzgar enerjisi için önemli bir çevresel fayda gösterdiğinin altını çizmiştir. Rüzgar sistemi, dizel sisteme kıyasla sera gazı emisyonlarında %93 azalma sağlamıştır. Ekonomik olarak ise rüzgar türbini sisteminin net maliyeti dizel sistemden %14 daha fazla olduğu bulunmuştur.

Kabir, et al. [35] 100 kW'lık elektrik üretimini üç farklı boyutta rüzgar türbin ile sağlayarak bunların yaşam döngü sürdürülebilirliğini incelemişlerdir. Oluşturulan senaryolarda 5 kW kapasiteli 20 adet, 20 kW kapasiteli 5 adet ve 100 kW kapasiteli 1 adet türbinin kurulumu şeklinde oluşturulmuştur. Bu çalışmada fonksiyonel birim olarak 1 kWh elektrik üretimi kullanılmıştır ve karşılaştırma bu şekilde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar üçüncü senaryoda ele alınan sistemin enerji gereksinimlerinin sırası ile birinci ve ikinci senaryodaki sistemlerin enerji gereksinimlerinden %69 ve %41 oranlarında daha az olduğu, üçüncü senaryodaki sistemin küresel ısınma potansiyelinin üretilen 1 kWh elektrik için 17,8 g CO₂-eşd. olduğu ve birinci ve ikinci senaryodaki sistemlere oranla sırası ile %58 ve %29 daha az olduğu bulunmuştur. Seçilen türbinler ayrıca ekonomik yönüyle de karşılaştırılmıştır.

Greening and Azapagic [36] yaptıkları çalışmada İngiltere'deki küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin yaşam döngüsü çevresel sürdürülebilirliğini şebeke elektriği ve fotovoltaik güneş sistemleri ile karşılaştırarak değerlendirmişlerdir. Yapılan çevresel etki değerlendirmesinde CML 2 Baseline 2001 [42] etki değerlendirme yöntemi kullanılmış olup küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin yaşam döngüsü boyutunda verimlilik, toksiklik analizi, ötrofikasyon, asidifikasyon ve küresel ısınma potansiyelleri gibi etkileri hesaplanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar küçük

ölçekli rüzgar türbinlerinden kaynaklanan çevresel etkilerin küresel ısınma potansiyeli gibi birçok çevresel etki için şebeke elektriğinden daha düşük olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, abiyotik elementlerin tükenmesi potansiyeli, tatlı su ve insan toksisite potansiyellerinin şebeke elektriğinden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Şebeke elektriğinin yanında fotovoltaikler ile yapılan karşılaştırma sonucunda küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin ötrofikasyon ve ozon tabakası incilmesi potansiyelleri gibi çevresel etkiler için daha çevreci olduğu bulunurken fosil kaynaklarının tükenmesi, tatlı su, insan ve karasal toksisite potansiyellerinin rüzgar türbini için fotovoltaiklere göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Brandoni, et al. [37] yaptıkları çalışmada karbon emisyonu azalımı konusundaki hedeflere ulaşmak için düşük karbon politikalarının uygulamaya konulmasında yerel enerji planlamasının rolünü ele almıştır. Bu çalışma düşük karbonlu politikaların sonuçlarının daha iyi anlaşılması için enerji talebini küçük ölçekli enerji teknolojileri ile karşılamının çevresel etkisine odaklanmaktadır. Küçük ölçekli güneş, rüzgar ve kombine ısı ve güç sistemlerinin iklim değişikliği hedefleri doğrultusunda CO₂ salınımını incelemişlerdir. Düşük karbon politikalarının birincil enerji tüketimi ve emisyonlar açısından etkisini niceliksel olarak değerlendirmek amacıyla, çalışma Danimarka'daki Aalborg Üniversitesi tarafından geliştirilen bir yazılım aracı olan Enerji Planı kullanılmıştır. Model, saatlik enerji talebi ve arzuna dayalı olarak ulusal ve bölgesel enerji planlama stratejilerini analiz etmek ve şebeke istikrarından kaynaklanan kısıtlamaları göz önünde bulundurmak için tasarlanmış entegre bir enerji sistemi modelidir. Sonuçlar, küçük ölçekli enerji teknolojilerinin kullanılmasının CO₂ emisyonlarını azaltmaya yardımcı olabileceğini ve büyük ölçekli yenilenebilir üretimde bir artışı sağlayabileceğini, ancak başarılı bir yerel enerji üretim planıyla enerji üretiminin talebi karşılayabileceğini göstermektedir.

Glassbrook, et al. [38] Tayland için yaptıkları araştırmada küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesini ve fizibilite çalışmasını analiz etmişlerdir. 20 yıl boyunca ayda 50 kWh elektrik üretimi fonksiyonel birim olarak kullanarak, küresel ısınma potansiyeli, tüketilen enerji, enerji geri ödeme süresi ve elektrik üretim maliyeti hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin dizel motor enerji üretim sisteminden ve Tayland şebeke elektriğinden daha çevre dostu olduğunu göstermiştir.

Wang and Teah [39] çalışmalarında Tayvan'da üretilen 600 W'lık bir türbin için sera gazı emisyonun ve enerji tüketimi yaşam döngüsü boyutunda hesaplanmışlardır. Sistem sınırları malzeme üretimi, türbin üretimi, nakliye, atık yönetimi ve geri dönüşüm basamaklarından oluşmaktadır. IPCC tarafından oluşturulan yöntemlere dayanarak sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Yapılan analizler, türbinin enerji anlamında üretim enerjisini amorti etmesinin 161 yıl süreceği sonucuna varılmıştır. Toplam enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları kaynak kullanımı (%70), nakliye (%04), bertaraf ve geri

dönüşüm (%09) basamaklarından oluşmaktadır. En fazla sera gazı emisyonları, üretim aşamasından kaynaklanmaktadır. Seçilen türbin türü için hesaplanan değerler şebeke elektriği ile karşılaştırıldığında ekonomik ya da çevreci sonuçlar vermemiştir.

Troullaki, et al. [40] yerel olarak üretilen küçük rüzgar türbinleri ve piko-hidroelektrik santrallerinin çevresel etkilerini şebeke dışı bir bağlamda değerlendirmek için bir yaşam döngüsü modeli ve envanteri uygulanmıştır. Modellemede, küçük rüzgar türbinlerinde meydana gelen arıza sayısı gibi bu sistemlerin performansını ve etkisini etkileyen parametrelerdeki değişimler de dikkate alınmıştır. Sonuçlar daha sonra küçük bir jeneratör setinin etkileriyle karşılaştırılmıştır. Modellemede SimaPro yazılımı kullanılmıştır. Yenilenemeyen birincil enerji gereksinimleri Kümülatif Enerji Talebi (CED) V1.09 yöntemine göre hesaplanırken, abiyotik tükenme, asitlenme, ötrofikasyon ve küresel ısınma CML 2 Baseline 2001 [42] yöntemine göre hesaplanmıştır. Genel olarak, çalışma, her iki yenilenebilir enerji sisteminin de küçük jeneratör setinden önemli ölçüde daha düşük etkiye sahip olduğu sonucunu elde etmiştir.

Kouloumpis, et al. [41] iklim değişikliğini azaltmaya yönelik bir çözüm olarak daha küçük ölçekli düşey eksenli rüzgar türbinlerinin sürdürülebilirliğini araştırmışlardır. Polonya'daki bir rüzgar türbininin gerçek üretim verileri kullanılarak yaşam döngüsü çevresel etkileri analiz edilmiştir. Çalışmada yaşam döngüsü boyutundaki çevresel etkiler GaBi yazılımı ile modellenmiştir. Toplam 11 adet çevresel etki CML 2 Baseline 2001 [42] etki değerlendirme yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışma çevresel etkilerin çoğunluğunun, türbinin kendisinden ziyade destekleyici altyapıya, özellikle direk ve temellerden kaynaklandığını göstermektedir. Sonuçlar ayrıca incelenen rüzgar türbininin çevresel sürdürülebilirlik performansının kapasite faktörünün dalgalanmalarına karşı çok hassas olduğu ve uygun yerleşim, metallerin geri dönüşümü ve türbinin mevcut bina yapısına entegrasyonu için çevresel etkilerin azaltılabileceği vurgulanmıştır.

Sonuç ve Tartışma

Son zamanlarda sürdürülebilirlik anlayışının ön plana çıkması ile birlikte sürdürülebilir kalkınma için kritik bir sektör olan enerji sektörünün sürdürülebilirliğinin önemi her geçen gün artmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının tükeniyor olması ve çevreye verdikleri olumsuz etkiden dolayı enerji ihtiyacının yenilenebilir ve temiz bir teknoloji kullanılarak elde edilmesi gerekmektedir. Yenilenebilir enerji sistemlerinin giderek önem kazanmasıyla birlikte küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin çevresel etkisini ve sürdürülebilirlik performansını ölçüldüğü çalışmalar yayınlanmıştır. Bu çalışmada, orta ve küçük ölçekli rüzgar enerji sistemlerinin yaşam döngüsü boyutunda çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik yapılan bilimsel çalışmaların derlenmesi amacıyla bir literatür çalışması yapılmıştır.

Çalışmalarda değişik farklı kurulu güce sahip olan rüzgar türbinleri araştırılmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi için belirlenen sistem sınırları çalışmalarda farklılık göstermiştir. Ayrıca çalışmanın amacı ve kapsamına uygun olarak farklı çevresel etki kategorileri de değerlendirilmiştir. Çalışmalarda genel olarak dar bir gösterge aralığı göz önüne alınarak çevresel değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Daha geniş bir çevresel etki yelpazesini dikkate alan az sayıda çalışma vardır. Bazı çalışmalarda çevresel göstergelerin yanında ekonomik göstergeler de hesaplanırken seçilen enerji teknolojisi için sosyal göstergelerin değerlendirildiği çalışma literatürde bulunmamaktadır.

Orta ve küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin yaşam döngüsü çevresel sürdürülebilirliklerini analiz eden çalışmaların derlenerek irdelenmesi küçük ölçekli enerji üretim sistemlerinin yaygınlaştırılması, mevcut potansiyelinin kullanılması ve gelecek vizyonun belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu yüzden yapılacak olan çalışmalarda daha geniş çevresel etki kategorilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca çevresel sürdürülebilirlikle birlikte yaşam döngüsü ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğin de analiz edilmesi tavsiye edilmektedir. Yapılacak olan bu analizlerden elde edilen sonuçların beraber değerlendirilmesinin enerji sektörünün sürdürülebilirliğine büyük katkısı olacağı öngörülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (Proje: 2020-02.BŞEÜ.03-06) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] IEA, "Key World Energy Statistics" Energy Information Administration, Paris, 2021.
- [2] IPCC, "Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change" Geneva, Switzerland, 2007.
- [3] IEA, "Energy Technology Perspectives 2012: Pathways to a Clean Energy System" International Energy Agency, Paris, 2012.
- [4] E. T. Karagöl and İ. Kavaz, "Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji," SETA - Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı, İstanbul, 2017.
- [5] TÜBA, "Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Raporu", Türkiye Bilimler Akademisi Ankara, 2019.
- [6] N. Nurbay and A. Çınar, "Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması" *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, pp. 19-21, 2005.
- [7] U. Elibüyük and İ. Üçgül, "Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri," *SDÜ Yekarum e-Dergi*, vol. 2, no. 3, 2014.
- [8] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, and E. Bossanyi, *Wind Energy Handbook*. Wiley Online Library, John Wiley & Sons, England, 2001.
- [9] M. Saad, "Comparison of Horizontal Axis Wind Turbines and Vertical Axis Wind Turbines" *IOSR Journal of Engineering*, vol. 4, pp. 27-30, 2014.
- [10] H.-J. Wagner, "Introduction to Wind Energy Systems" in *EPJ Web of Conferences*, vol. 189, p. 00005: EDP Sciences, 2018.
- [11] NREL, "The U.S. Small Wind Turbine Industry, A 20 Year Industry Plan for Small Wind Turbine Technology," in *"Roadmap"* American Wind Energy Association (AWEA) Small Wind Turbine Committee, National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2002.
- [12] J. Leary *et al.*, "Finding the Niche: A Review of Market Assessment Methodologies for Rural Electrification with Small Scale Wind Power" *Renewable Sustainable Energy Reviews*, vol. 133, p. 110240, 2020.
- [13] J. L. Acosta, K. Combe, S. Ž. Djokic, and I. Hernando-Gil, "Performance Assessment of Micro and Small-Scale Wind Turbines in Urban Areas" *IEEE Systems Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 152-163, 2012.
- [14] N. Bergman, Hawkes, A., Brett, D., Baker, P., Barton, J., Blanchard, R., Brandon, N., Infield, D., Jardine, C., Kelly, N., Leach, M., Matian, M., Peacock, A. D., Staffell, I., Sudtharalingam, S. & Woodman, B., "UK Microgeneration. Part I: Policy and Behavioural Aspects" *Energy*, vol. 162, pp. 23-36, 2009.
- [15] S. R. Allen, G. P. Hammond, and M. C. McManus, "Prospects for and Barriers to Domestic Micro-Generation: A United Kingdom Perspective" *Applied Energy*, vol. 85, no. 6, pp. 528-544, 2008.

- [16] B. Sørensen, "From life cycle analysis to life cycle assessment" in *Life-Cycle Analysis of Energy Systems: from Methodology to Applications*: The Royal Society of Chemistry, 2011, pp. 67-78.
- [17] A. Azapagic, "Life cycle assessment as a tool for sustainable management of ecosystem services," in *Ecosystem Services*, vol. 30: The Royal Society of Chemistry, 2010, pp. 140-168.
- [18] H. Baumann and A. M. Tillman, "LCA methodology" in *The Hitch Hiker's Guide to LCA - An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Application*. Lund Studentlitteratur AB, pp. 73-202, 2004.
- [19] ISO, "Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines" International Standard Organization, Geneva, Switzerland, vol. BS EN ISO 14040:2006, 2006.
- [20] ISO, "Life Cycle Assessment - Principles and Framework," International Standard Organization, Geneva, Switzerland, vol. BS EN ISO 14040:2006, 2006.
- [21] H. Baumann and A.-M. Tillman, "Introduction to LCA," in *The Hitch Hiker's Guide to LCA : An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Application*, Lund: Studentlitteratur AB, pp. 19-69, 2004.
- [22] G. Rebitzer *et al.*, "Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications" *Environment International*, vol. 30, no. 5, pp. 701-720, 2004.
- [23] J. B. Guinée *et al.*, *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards (Eco-Efficiency in Industry and Science)*, 7. Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [24] S. Perdan, "The Concept of Sustainable Development and its Practical Implications. Chapter 1" in *Sustainable Development in Practice* vol. Chapter 1, A. Azapagic and S. Perdan, Eds. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.
- [25] S. Chu and A. J. n. Majumdar, "Opportunities and Challenges for a Sustainable Energy Future" vol. 488, no. 7411, pp. 294-303, 2012.
- [26] D. Y. C. Leung and Y. Yang, "Wind Energy Development And its Environmental Impact: A Review" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 1, pp. 1031-1039, 2012.
- [27] B. Atilgan and A. Azapagic, "Renewable Electricity in Turkey: Life Cycle Environmental Impacts" *Renewable Energy*, vol. 89, pp. 649-657, 2016.
- [28] M. Lenzen and U. Wachsmann, "Wind turbines in Brazil and Germany: An Example of Geographical Variability in Life-Cycle Assessment" *Applied Energy*, vol. 77, no. 2, pp. 119-130, 2, 2004.
- [29] S. W. White, "Net Energy Payback and CO₂ Emissions from Three Midwestern Wind Farms: An Update" *Natural Resources Research*, vol. 15, pp. 271-281, 2006.
- [30] A. D. Peacock, D. Jenkins, M. Ahadzi, A. Berry, and S. Turan, "Micro Wind Turbines in the UK Domestic Sector" *Energy and Buildings*, vol. 40, no. 7, pp. 1324-1333, 2008.
- [31] F. Ardente, M. Beccali, M. Cellura, and V. Lo Brano, "Energy Performances And Life Cycle Assessment of an Italian Wind Farm" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, pp. 200-217, 2008.
- [32] B. Tremeac and F. Meunier, "Life cycle Analysis of 4.5 MW and 250 W Wind Turbines" *Renewable & Sustainable Energy Reviews* vol. 13, pp. 2104-2110, 2009.
- [33] R. H. Crawford, "Life Cycle Energy and Greenhouse Emissions Analysis of Wind Turbines and the Effect of Size on Energy Yield" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 9, pp. 2653-2660, 2009.
- [34] B. Fleck and M. Huot, "Comparative Life Cycle Assessment of a Small Wind Turbine for Residential Off-Grid Use" *Renewable Energy*, vol. 34, no. 12, pp. 2688-2696, 2009.
- [35] M. R. Kabir, B. Rooke, G. D. M. Dassanayake, and B. A. Fleck, "Comparative Life Cycle Energy, Emission, and Economic Analysis of 100 kW Nameplate Wind Power Generation" *Renewable Energy*, vol. 37, no. 1, pp. 133-141, 2012.
- [36] B. Greening and A. Azapagic, "Environmental Impacts of Micro-Wind Turbines and their Potential to Contribute to UK Climate Change Targets" *Energy*, vol. 59, pp. 454-466, 2013.
- [37] C. Brandoni, A. Arteconi, G. Ciriachi, and F. Polonara, "Assessing the Impact of Micro-Generation Technologies on Local Sustainability" *Energy Conversion and Management*, vol. 87, pp. 1281-1290, 2014.

- [38] K. A. Glassbrook, A. H. Carr, M. L. Drosnes, T. R. Oakley, R. M. Kamens, and S. H. Gheewala, "Life Cycle Assessment and Feasibility Study of Small Wind Power in Thailand" *Energy for Sustainable Development*, vol. 22, pp. 66-73, 2014.
- [39] W.-C. Wang and H.-Y. Teah, "Life Cycle Assessment of Small-Scale Horizontal Axis Wind Turbines in Taiwan" *Journal of Cleaner Production*, vol. 141, pp. 492-501, 2017.
- [40] A. Troullaki, K. Latoufis, P. Marques, F. Freire, and N. Hatziargyriou, "Life Cycle Assessment of Locally Manufactured Small Wind Turbines and Pico-Hydro Plants" in *2019 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, pp. 1-6, 2019.
- [41] V. Kouloumpis, R. A. Sobolewski, and X. Yan, "Performance and Life Cycle Assessment of a Small Scale Vertical Axis Wind Turbine" *Journal of Cleaner Production*, vol. 247, p. 119520, 2020.
- [42] G. M. Guinée JB, Heijungs R, Huppes G, Kleijn R, de Koning A. (2001). *Life Cycle Assessment: An Operational Guide to the ISO Standards; Part 2a. Leiden*. Available: <http://cml.leiden.edu/research/industrialecology/researchprojects/finished/new-dutchlca-guide.html>; 2001.



Karınca Koloni ve Genetik Algoritma Yöntemleri Kullanarak En İyi Sayaç Okuma Güzergâhının Tespit Edilmesi

Determining the Best Meter Reading Route Using Ant Colony and Genetic Algorithm Methods

Murat Taşyürek^{1*}, Mehmet Erat²

¹ Kayseri Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, murattasyurek@kayseri.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5623-8577>

² Kayseri Üniversitesi, Hesaplamalı Bilimler ve Mühendislik, mehmed.erat@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1868-5824>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 17 Mart 2022
Revizyon 20 Nisan 2022
Kabul 1 Ağustos 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

Karınca Kolonisi Algoritması,
Gezgin Satıcı Problemi, Sayaç
Okuma, Su ve Kanalizasyon
Idareleri

ÖZ

Elektrik, su ve doğalgaz dağıtım idareleri abonelerin tüketimlerini belirli dönemlerde faturalandırmaktadırlar. Tüketim miktarının belirlenmesi için abonelerin adreslerindeki sayaç endekslerinin okunması gerekmektedir. Dağıtım idareleri bu süreci minimum iş gücü ile maksimum fayda sağlayacak şekilde yürütmeye çalışmaktadırlar. Aboneler fiziki şartlar göz önünde bulundurularak bir personelin günlük okuyabilecekleri limitlerde bölgesel olarak gruplandırılmaktadır. Su ve Kanalizasyon idarelerinde de endeks okuma personelleri mobil cihaz ve uygulama ile belirlenen dönemlerde sayaç okuma işlemi yaparak abonelerin tüketim miktarlarını belirlemekte ve tahakkuk oluşturmaktadırlar. Abonelerin sayaç okuma güzergâhı endeks okuma personellerinin alışkanlığına ve saha koşullarına göre tayin edilmektedir. Okuma dönemlerinde yaşanan abone hareketliliği (yeni abonelik, abonelik iptali vb.) sayaç okuma sürecini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada bölgesel sayaç okuma süreci ele alınmış ve endeks okuma personellerinin okuma performanslarının iyileştirilmesi için literatürde Gezgin Satıcı Problemi diye ifade edilen sorunun çözümünde Karınca Koloni ve Genetik algoritmalarının yaklaşımları ve performansları incelenmiştir. Kayseri Melikgazi ilçesi Erenköy mahallesinde bulunan aboneler için her iki algoritma ile sayaç okuma rotalama işlemi yapılmış, Karınca Koloni Algoritmasının aynı mesafeyi yaklaşık olarak 3 kat daha hızlı sürede tespit ederek daha iyi sonuç ürettiği gözlemlenmiştir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 March 2022
Received in revised form 20 April 2022
Accepted 1 August 2022
Available online 30 September 2022

Keywords: Ant Colony Algorithm,
Traveling Seller Problem, Optimum
Route Determination, Meter
Reading, Water and Sewer Utilities

ABSTRACT

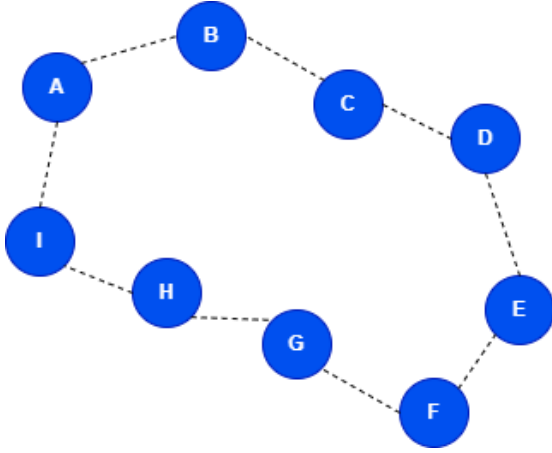
Electricity, water and natural gas distribution administrations invoice the consumption of the subscribers in certain periods. In order to determine the consumption amount, it is necessary to read the meter indices at the addresses of the subscribers. Distribution administrations are trying to carry out this process in a way that will provide maximum benefit with minimum workforce. Subscribers are grouped regionally within the limits that a staff member can read daily, taking into account the physical conditions. In the Water and Sewerage administrations, index reading personnel also perform meter readings in periods determined by mobile device and application, determine the consumption amounts of the subscribers and create accruals. The meter reading route of the subscribers is determined according to the habits and field conditions of the index reading personnel. The subscriber mobility (new subscription, subscription cancellation, etc.) experienced during the reading periods negatively affects the meter reading process. In this study, the regional meter reading process is discussed and the approaches and performances of Ant Colony and Genetic algorithms in solving the problem, which is called the Traveling Salesman Problem in the literature, are examined in order to improve the reading performance. For subscribers in Kayseri Melikgazi district, Erenköy neighborhood, meter reading routing process was performed with both algorithms, it was observed that the Ant Colony Algorithm determined the same distance approximately 3 times faster in terms of time and produced better results compared to time criteria.

Doi: 10.24012/dumf.1072010

* Sorumlu Yazar

Giriş

Gezgin satıcı problemi (GSP) Karl Menger tarafından 1930'lu yılların başında matematiksel olarak tanımlanmıştır. Problemin tanımlanması kolay olmasına rağmen çözümü oldukça zordur [1]. GSP modelinin tercih edilmesinin en önemli nedenlerinden biri çok fazla gerçek dünya probleminin bu yöntem ile modellenmesidir. Gezgin satıcı problemi literatürde en kısa yol problemi olarak da tanımlanmaktadır. Bu problemde temel mantık bir tüccarın mallarını her şehri bir defa ziyaret ederek başlangıç noktasına geri dönmesidir [2]. Şekil 1' de Hamilton döngüsü gösterilmiştir [3]. Temel prensip en kısa yolu takip ederek tüm işlemleri gerçekleştirmektir.



Şekil 1. Hamilton Döngüsü

Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi (KASKİ) abonelerinin tüketimlerini faturalandırmak için belirli zaman aralıklarında sayaç okuma işlemi yapmaktadır. Aboneler, mesafe ve sayacın fiziki durumu göz önünde bulundurularak bir personelin bir günde okuyabileceği kadar bölgelere göre gruplandırılmaktadır. Bölgedeki bu abonelerin sayaçları yerinde okunarak cep telefonu ve mobil uygulama aracılığıyla fatura düzenlenmektedir. Şehirdeki yaşam hareketliliği nedeniyle faturalandırma zaman aralığında yeni abonelikler (binalar) gelebileceği gibi mevcut aboneliklerin iptali (bina yıkım vb.) gerçekleşmektedir. Bölgede gerçekleşen bu hareketlilik sayaç okuma personelinin doğru rotayı izlememesi nedeniyle zaman kaybettirebilmektedir. Yeni oluşacak aboneliğin rotaya zamanında dahil edilememesi aboneye birikmiş bir fatura yükü oluşturmakta ve kurum için de gelirin geç tahsil edilmesi ile sonuçlanabilmektedir.

Endeks okuma sürecinde yaşanan bu olumsuzlukları giderebilmek için literatürde mevcut olan çalışmalar incelendiğinde Gezgin Satıcı Problemi şeklinde ifade edilen sorunun çözümüne yönelik geliştirilen farklı algoritmalar görülmektedir.

Ahn ve diğerleri [17], en kısa yol yönlendirme problemini genetik algoritma yöntemi kullanarak çözmüştür. Gonen ve diğerleri [18], yol ağındaki en kısa yolu bulmak için genetik algoritma yönteminin kullanılmasını tavsiye etmiştir. Diğer taraftan, 2022 yılında Di Caprio ve diğerleri [19] bulanık yay ağırlıkları ile en kısa yol problemlerini çözmek için yeni bir

karınca kolonisi algoritması önermiştir. Yen ve diğerleri [20], mobil robotta en kısa yol planlaması ve engellerden kaçınma için kullanılan karınca kolonisi algoritması ile bulanık kontrol çalışmasını birlikte kullanmayı önermiştir.

Bu çalışma kapsamında, gezgin satıcı problemlerinde yaygın kullanılan algoritmalarından karınca kolonisi ve genetik algoritmalar ile endeks okuma personelleri için optimum rota oluşturulması hedeflenmiştir.

Kayseri Melikgazi ilçesi Erenköy mahallesinde bulunan sayaçlar ile çalışma yapılmıştır. Bu bölge yeni yerleşime açık, dağınık ve müstakil binaların fazlaca olması nedeniyle seçilmiştir. 40, 50 ve 100 adet bina içeren üç farklı veri seti oluşturulmuştur. Her iki algoritmanın farklı sayıda abone için ürettiği sonucun mesafe ve zamansal olarak çözümünü gözlemleyebilmek için farklı sayıda veri içeren veri setleri ile sayaç okuma rotalama işlemi yapılmıştır. 60 iterasyon sonunda birbirine yakın değerler elde edilse de Karınca Koloni algoritmasının en kısa yolu en az sürede bulunduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde, sırasıyla, gezgin satıcı problemi, karınca kolonisi algoritması ve genetik algoritmalar açıklanmıştır. Uygulama kısmında karınca kolonisi ve genetik algoritma kullanılarak çalışma alanındaki noktalar için sonuçlar hesaplanmıştır. Sonuç kısmında algoritmaların karşılaştırılması ve gezgin satıcı problemi yaklaşımının vermiş olduğu sonuç değerlendirilmiştir.

Gezgin Satıcı Problemi

GSP, seyahat eden satıcının, mallarını bulunduğu şehirden başlayarak her şehri bir defa ziyaret ederek başlangıç noktasına geri dönmesidir [4]. Asıl amaç bu yolculuk için en kısa rotanın tanımlanmasıdır. GSP, Matematik, Bilgisayar Bilimi, Yöneylem Araştırması vb. birçok dalda yaygın olarak kullanılan modeldir. Zor birleşimsel optimizasyon problemlerine en başarılı yaklaşımların ana bileşenleri olan doğrusal programlama formülasyonundan türetilmiştir. Problem boyutu arttıkça kesin çözüm üretmek zor hatta imkansızlaşmaktadır [5]. İlk olarak GSP için formüle edilmiş ve 1954'te Dantzig, Fulkerson ve Johnson tarafından pratik problem örneklerini çözmek için kullanılmıştır. NP-tam (NP-completeness) teorisi geliştirildiği zaman GSP, 1972'de Karp tarafından NP-zor olarak kantlanan ilk problemlerden biri olarak tanımlanmıştır [6].

Karınca Kolonisi Algoritması (KKA)

Sürü zekâsı araştırma alanının kurucularından biri olan Marco Dorigo tarafından ortaya atılmıştır [7]. Karıncalar yiyecek ararlarken öncelikle yuvalarını çevreleyen alanı rastgele bir şekilde araştırırlar. Bir karınca besin bulunduğu anda değerlendirir ve yiyeceği yuvasına taşıırken yol üzerinde iz biriktirir [8]. Karınca kolonilerinin üyeleri arasındaki sosyal ilişkileri düzenlemek için salgıladıkları kimyasal bir madde vardır. Feromon adı verilen bu maddenin salgılanmasıyla yiyecek kaynakları ile yuvaları arasındaki en kısa yolu bulma yöntemlerinden esinlenerek oluşturulmuştur [9]. Yol ne kadar kısa olursa ortamdaki Feromon o kadar

yoğun olur, karıncalar tarafından yüksek olasılıkla bu yol tercih edileceğinden diğer yollardaki Feromon zamanla kaybolacaktır [10].

Karıncanın Turunun Oluşturulması

Karıncanın koloni algoritmasında ilk olarak kaç tane karıncanın olacağı belirlenir. Daha sonra her bir karıncanın rastgele olarak bir düğüme yerleştirilir. Daha sonra bütün düğümleri tek tek ziyaret ederek turunu tamamlar. Her bir karıncanın mevcut düğümden bir sonraki düğüme gidebilmesinin matematiksel formülü Denklem 1'de verilmiştir [22].

$$P_{i,j}^l = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^l} [\tau_{il}]^\alpha [\eta_{il}]^\beta}$$

(Denklem 1)

Denklem 1'de, $P_{i,j}^l$ karıncasının i düğüminden j düğümine geçme olasılığı $\tau_{i,j}$ i ve j düğümleri arasındaki feromon değeri $\eta_{i,j}$ i ve j düğümleri arasındaki sezgisel değeri α feromon katsayısı β sezgisel katsayısı N düğümler kümesini ifade etmektedir [23].

Karıncanın koloni algoritmasının dört adet temel parametresi bulunmaktadır. Bu parametreler ve açıklamaları aşağıda sunulmuştur [24].

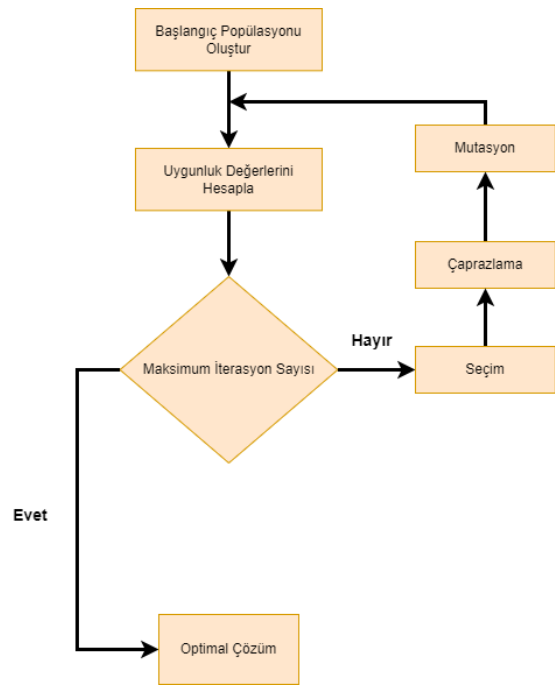
- Karıncanın Sayısı: Kolonide bulunacak karıncanın sayısı
- İterasyon Sayısı: Arama işleminin kaç adımda gerçekleşeceği
- Feromon Kuvvetlendirme Oranı: Düğümler arası feromon miktarlarının önem derecesi
- Feromon Buharlaştırma Oranı: İterasyon sonunda düğümler arasındaki feromonların buharlaşacağı oran

Genetik Algoritmalar

Genetik algoritma (GA), genellikle küresel bir arama buluşsal tekniği olarak kategorize edilen bir optimizasyon algoritmasıdır. Evrimsel hesaplamaların bir dalı olarak, biyolojik üreme süreçlerinin doğal seçilimi taklit ettiği ve "en uygun" çözümleri ürettiği bilinmektedir [11]. 1960'larda John Holland, öğrencileri ve Michigan Üniversitesi'ndeki meslektaşları tarafından geliştirilmiştir [12]. Genetik algoritma evrimsel hesaplamadaki en popüler tekniklerden biridir [13]. Algoritma, yeni nesillerin türetileceği bir başlangıç popülasyonuna ihtiyaç duymaktadır. Bu popülasyonun çeşitliliği ve boyutu çözüm kalitesini doğrudan etkilemektedir [14].

Genetik Algoritma Adımları:

1. Başlat: Başlangıç popülasyonunu oluştur.
2. Uygunluk: Tüm kromozomların uygunluğunu hesapla.
3. Yeni popülasyon oluştur.
 - a) Seçim: Seçim yöntemine göre popülasyondan 2 kromozom seçin.
 - b) Çaprazlama: Seçilen 2 kromozom üzerinde çaprazlama gerçekleştirin.
 - c) Mutasyon: Elde edilen kromozomlar üzerinde mutasyon gerçekleştirin.
4. Değiştir: Mevcut popülasyonu yeni popülasyonla değiştirin.
5. Test: Son koşulun karşılanıp karşılanmadığını test edin. Eğer öyleyse, dur. Değilse, mevcut popülasyondaki en iyi çözümü döndürün ve Adım 2'ye gidin.



Şekil 2. GA Modeli

Genetik Algoritmanın Temel Unsurları

Çoğu GA yöntemi şu unsurlara dayanır: kromozom popülasyonları, uygunluğa göre seçim, yeni yavrular üretmek için çaprazlama ve yeni yavruların rastgele mutasyonu [25].

GA modellerindeki kromozomlar, aday çözümlerin uzayını temsil eder. Olası kromozom kodlamaları ikili, permütasyon, değer ve ağaç kodlamalarıdır. GA modelleri, mevcut popülasyondaki her kromozoma bir puan tahsis eden bir uygunluk fonksiyonu gerektirir. Böylece çözümlerin ne kadar iyi kodlandığı ve problemi ne kadar iyi çözdüğü hesaplanabilir.

Bulgular

Genetik Algoritmalar kullanılarak Gezgin Satıcı Problemi yaklaşımı ile sayaç okuma personellerinin okuma güzergâhları geliştirilen uygulama üzerinden oluşturulmuştur. Personel sahada okuma işlemi yaparken canlı olarak merkez tarafında yapılan değişiklikler anlık olarak rotayı güncelleyecek ve personel en kısa mesafede en verimli bir şekilde çalışma yapmış olacaktır. Bu çalışma kapsamında kullanılan binaların harita üzerindeki konumu Şekil 3'te sunulmuştur.

Karınca Kolonisi Algoritması (KKA)

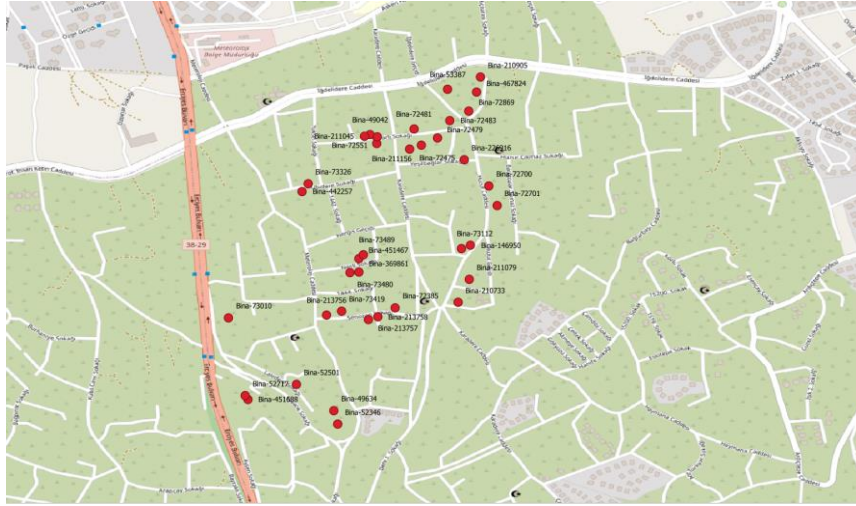
Algoritma, 40-50 ve 100 adet binadan oluşan 3 farklı veri setinde test edilmiştir. Değişen veri setlerinde sadece karınca

sayısı parametre değeri bina sayısına eşit olacak şekilde aşağıdaki parametre değerleri kullanılmıştır.

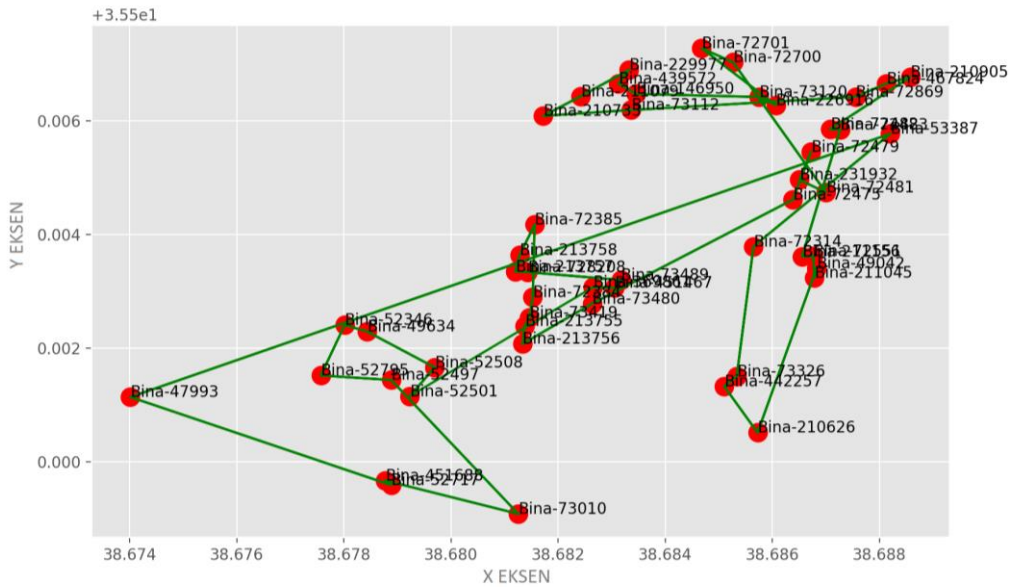
Tablo 1. KKA kullanılan parametre değerleri

Parametre Adı	Değeri
Karınca Sayısı	50
Feromon Buharlaştırma Oranı	0.3
Alfa	1
Beta	2.5
İterasyon Sayısı	60

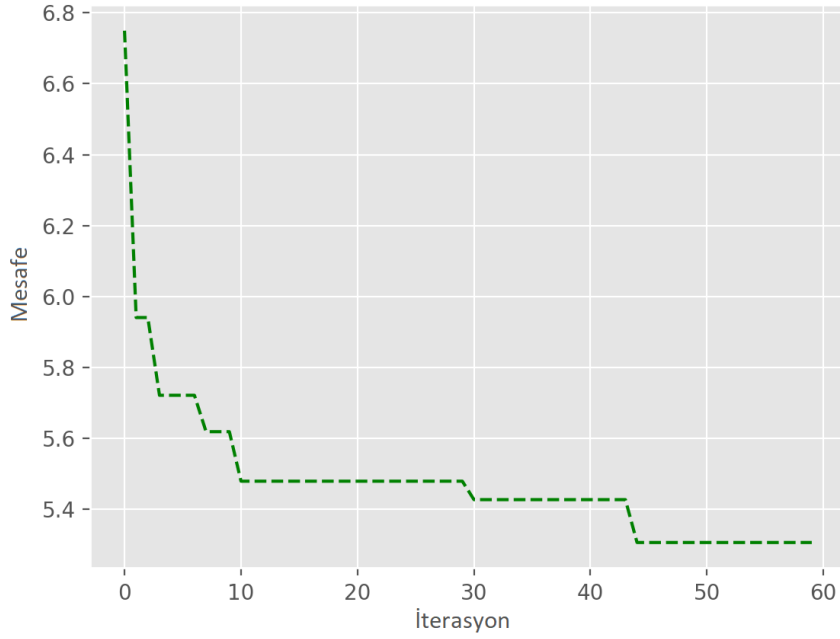
Karınca sayısını artırmak çözümün iyileşmesine katkı sağlamakta fakat işlem süresinin uzamasına sebep olmaktadır. Bu nedenle problemin büyüklüğüne bağlı olarak genellikle karınca sayısı şehir sayısı ile eşit seçilmektedir.



Şekil 3. Abonelerin (Bina) Coğrafi Koordinatları



Şekil 4. 50 Adet Binanın KKA ile rotalanması



Şekil 5. 50 Adet Binanın KKA İterasyon - Mesafe Grafiği

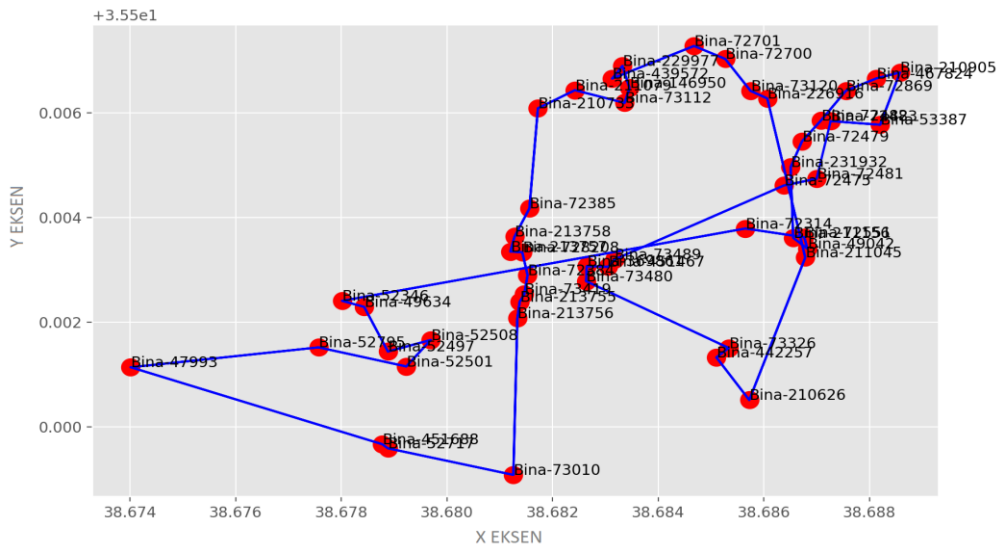
50 adet binanın karınca kolonisi algoritması ile rotalanmasında elde edilen sonuç Şekil 4 ve 5'te sunulmuştur. Şekil 5 detaylıca incelendiğinde 43. iterasyonda optimum güzergâhın oluştuğu görülmektedir. Her bir iterasyonda en uygun turu gerçekleştiren karınca ile birlikte en iyi tur korunarak bir sonraki iterasyona aktarılmaktadır. Dolayısıyla iterasyon sayısı arttıkça mesafe değeri de iyileşmektedir.

Genetik Algoritma

NP-zor problemler için en iyi çözümü standart matematiksel yaklaşım kullanarak bulmak mümkün değildir. Genetik

öncelikle rastgele bireylerden oluşan bir popülasyon (çözüm havuzu) oluşturulmaktadır. Popülasyondaki birey sayısının küçük seçilmesi daha kısa iterasyonda çözüme ulaşılacağı gibi yerel optimuma takılabilmektedir. Birey sayısının çok fazla olması ise çözüm kalitesini artıracak ancak iterasyon sayısını uzatacaktır. 50 adet binanın genetik algoritma ile rotalanmasından Şekil 6 ve Şekil 7'de sunulmuştur. Şekil 7'de detaylıca incelendiğinde 56. iterasyon da optimum güzergâhın oluştuğu görülmektedir.

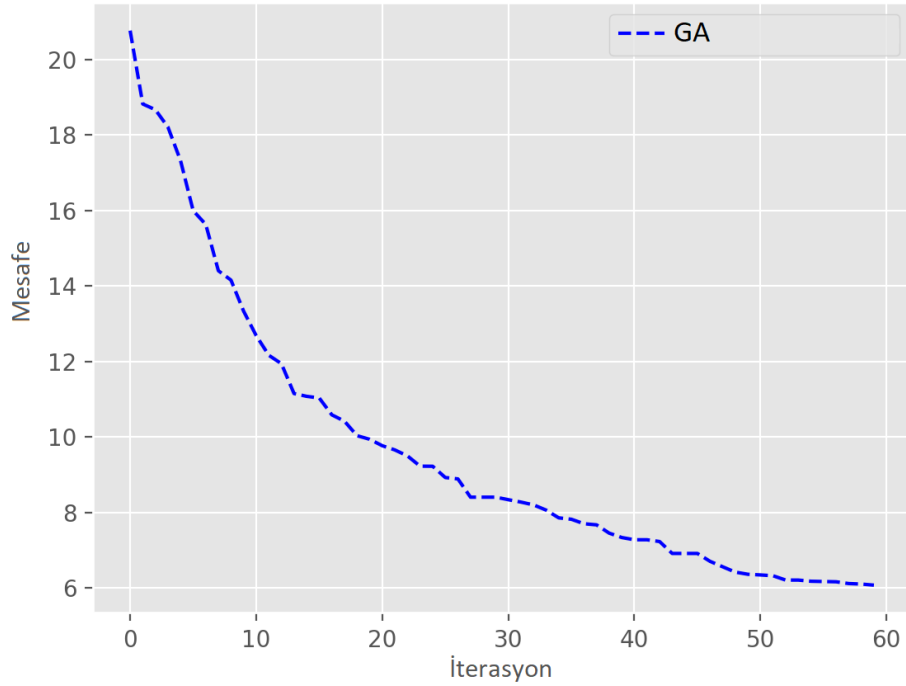
Algoritma, 40-50 ve 100 adet binadan oluşan 3 farklı veri



Şekil 6. 50 Adet Binanın GA ile rotalanması

Algoritmalar, çok sayıda olası çözüm içinde bir soruna iyi çözümler arayan bilgisayar algoritmalarıdır.

setinde test edilmiştir. Değişen veri setlerinde sadece "Birey



Şekil 7. 50 Adet Bina'nın GA İterasyon -Mesafe Grafiği

Sayı” parametre değeri bina sayısına eşit olacak şekilde aşağıdaki parametre değerleri kullanılmıştır.

Tablo 2. GA kullanılan parametre değerleri

Parametre Adı	Değeri
Birey Sayısı	50
Mutasyon Olasılığı	0.1
Çaprazlama Olasılığı	0.9
İterasyon Sayısı	60

Algoritmaların Karşılaştırılması

Karınca Kolonisi Algoritması grafikte de görüleceği üzere Genetik Algoritmaya göre ilk adımlarda daha kısa mesafeli rotaya ulaşmaktadır. Çünkü Karınca Kolonisi Algoritması turuna ilk olarak kendisine en yakın aboneye uğrayarak başlamakta iken genetik algoritma ise başlangıçta tamamen rastsal olarak üretilen popülasyon havuzundaki rotayı iterasyon ilerledikçe iyileştirmektedir. 50 adet aboneden oluşan veri setinde Karınca Kolonisi algoritmasının yaklaşık olarak 43. iterasyonda, genetik algoritmanın ise yaklaşık olarak 56. iterasyonda yerel minimuma ulaştığı görülmektedir.

Tartışma ve Sonuç

Python ile geliştirilen uygulama ile Karınca Kolonisi ve Genetik algoritmalar, aynı sayaç okuma bölgesinde yer alan 40-50 ve 100 adet binadan oluşan farklı veri setleri ile test edilmiştir. GSP yaklaşımı ile abone noktaları arasındaki en

kısa yol hesaplanabilmektedir. Bunun yanında uygulama ile abone noktaları arasındaki gerçek mesafeler gösterilerek çıkan sonuca göre oluşturulan rotanın performans karşılaştırması mümkün kılınmıştır.

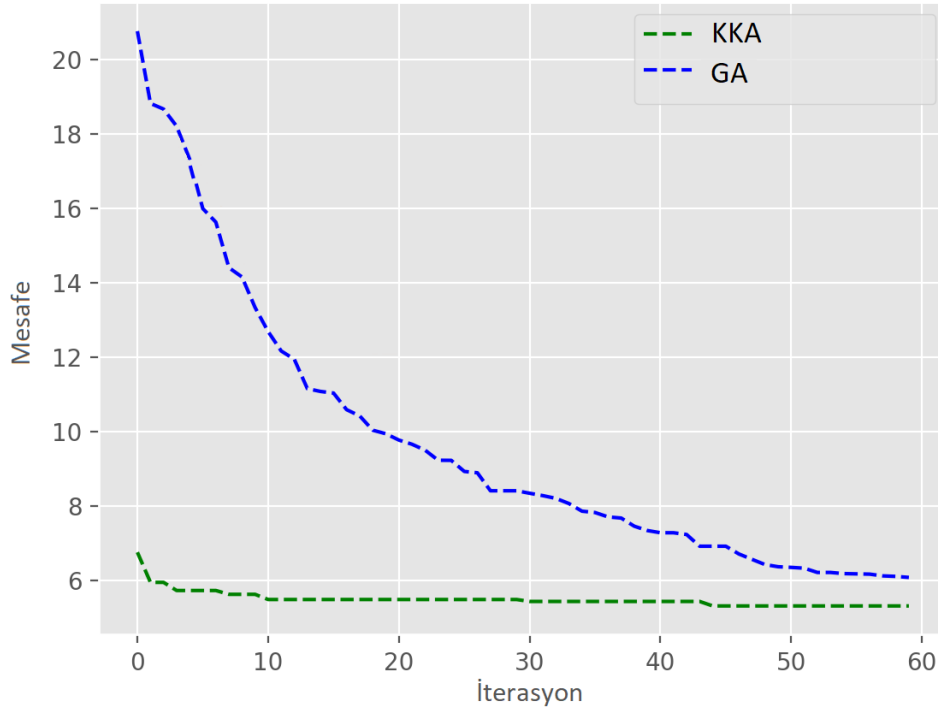
Yöntemlerin başarımlarını irdelemek için elde edilen mesafe grafiği Şekil 8’de sunulmuştur. Her üç veri seti ile yapılan testlerde 60 iterasyon sonunda algoritmalar birbirine yakın sonuçlar verse de Karınca Koloni algoritmasının gerek zaman gerekse mesafe olarak daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Sayaç okuma güzergahının belirlenmesinde, kaynakların verimli kullanılması açısından hesaplama maliyetinin zaman zaman açısından önemli da olduğu durumlarda özellikle Karınca Koloni Algoritması Genetik Algoritmaya göre daha erken iterasyonlarda optimum güzergaha yakın değer üretmektedir. Bu nedenle problemimizin çözümü yaklaşık olarak 3 kat daha kısa zamanda sağlanmaktadır.

Genetik algoritmanın başlangıçta rastsal bir rota oluşturuyor olması, Karınca Koloni Algoritmasının ise başlangıç noktasına en yakın binaları rotalıyor olması Genetik Algoritmanın dezavantajı olarak değerlendirilebilir.

KKA pek çok problemin çözümünde başarıyla kullanılmış ve bu problemlerin çözümünde etkili olduğu ortaya koyulmuştur [15].

KKA, kombinatoriyal optimizasyon gerçekleştirmek için son derece uygundur. Bununla birlikte, sezgisel bir algoritma olarak, yavaş yakınsama hızı ve düşük arama verimliliği gibi birçok eksikliği vardır. Bahsedilen eksiklikleri gidermek



Şekil 8. 50 Adet Binanın KKA ve GA İterasyon - Mesafe Grafiği

için, karıncaların arama alanını büyütüp aranan çözümleri çeşitlendirerek yeni bir KKA geliştirilebilir [16].

Diğer taraftan en kısa yol bilgisinin dinamik olarak değiştiği durumlarda ise anlık olarak çözüm üretilmesi gerekmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için literatürde genetik algoritma ve karınca koloni algoritması birlikte kullanılarak çözümler üretilmektedir [21].

Endeks okuma ve faturalandırma sürecinin, abone memnuniyeti ve idareye olan maliyeti açısından maksimum fayda sağlayacak şekilde yönetilmesi önem arz etmektedir. Zaman ve maliyeti en iyileyecek farklı teknikler kullanılarak bu kazanımlar elde edilebilir. Endeks okuma süreci için Karınca Koloni algoritması ile geliştirilen iyi tasarlanmış uygulamaların benzer süreçleri olan idarelerde de iyi ve hızlı sonuç vereceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan verilerin temini için Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Çolak, S. (2010). Genetik algoritmalar yardımı ile gezgin satıcı probleminin çözümü üzerine bir uygulama. 19(3), 423-438.
- [2] Naralan, A., Kaleli, S. S. & Baygım, M. (2017). Shortest Path Detection Using Clonal Selection Algorithm for Erzurum Metropolitan Municipality. Mugla Journal of

Science and Technology, 3(2), 138--142. doi:10.22531/MUGLAJSCI.357621

- [3] Karagül, K. (2019). Gezgin Satıcı Problemi İçin Yeni Bir Çözüm Yaklaşımı: TPORT. 21(63), 819-832.
- [4] Yapıcıoğlu, H. (2014). Zaman Kısıtları Altında Çok Periyodlu Çoklu Gezgin Satıcı Problemi. Anadolu University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering, 15(2), 113-124.
- [5] Pulat, M., & Kocakoç, İ. D. (2017). Gezgin Satıcı Probleminin Genetik Algoritmalarla Çözümünde Başlangıç Popülasyonunun Belirlenmesi, Journal Of Emerging Economies And Policy, 2(1), 1-29.
- [6] Pulat, M., & Kocakoç, İ. D. (2019). Gezgin Satıcı Probleminin Genetik Algoritmalar Kullanarak Çözümünde Çaprazlama Operatörlerinin Örnek Olaylar Bazlı İncelenmesi. İzmir İktisat Dergisi, 34(2), 225-243.
- [7] Kamilçelebi, S., Ilkin, S., & Şahin, S. (2021). Makine Öğrenmesi Tabanlı Karınca Kolonisi Optimizasyonu Kullanarak Araç Rotalama. Computer Science, (Special), 261-273.
- [8] Şahin, Y. (2019) Sezgisel ve Metasezgisel Yöntemlerin Gezgin Satıcı Problemi Çözüm Performanslarının Kıyaslanması. Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 19(4), 911-932.
- [9] Şenaras, A. E. & Şahin, İ. (2017). GSP Çözümü İçin Karınca Kolonisi Optimizasyonu. Sosyal Bilimler Metinleri, 2017(2), 58--67.
- [10] Zhang, Z., Xu, Z., Luan, S., Li, X., & Sun, Y. (2020). Opposition-Based Ant Colony Optimization Algorithm

- for the Traveling Salesman Problem. *Mathematics*, 8(10), 1650.
- [11] Okwu, M. O., & Tartibu, L. K. (2021). Genetic Algorithm. In *Metaheuristic Optimization: Nature-Inspired Algorithms Swarm and Computational Intelligence, Theory and Applications* (pp. 125-132). Cham: Springer International Publishing.
- [12] Rexhepi, A., Dika, A., & Maxhuni, A. (2012). Solving TSP using Genetic Algorithm–Case of Kosova. Paper presented at the WSEAS 6th WSEAS European Computing Conference (ECC'12), Prague, Czech Republic.
- [13] Pulat, M., & Kocakoç, İ. D. (2017). Gezgin Satıcı Probleminin Çözümünde Kullanılan Genetik Algoritmanın Parametrelerinin İncelenmesi, 21-36.
- [14] Osman, P. (2021). Gezgin Satıcı Problemi İçin Ardışık Yerel Arama ile Yeni Bir Hibrit Genetik Algoritma Önerisi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 17(4), 1198-1230.
- [15] Alaykiran, K., & Engin, O. (2005). Karınca Kolonileri Metasezgiseli ve Gezgin Satıcı Problemleri Üzerinde Bir Uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(1), 69-76.
- [16] Gao, W. (2020). New ant colony optimization algorithm for the traveling salesman problem. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 13(1), 44-55.
- [17] Ahn, C. W., & Ramakrishna, R. S. (2002). A genetic algorithm for shortest path routing problem and the sizing of populations. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(6), 566-579.
- [18] Gonen, B., & Louis, S. J. (2006). Genetic Algorithm finding the shortest path in Networks. Reno: University of Nevada.
- [19] Di Caprio, D., Ebrahimnejad, A., Alrezaamiri, H., & Santos-Arteaga, F. J. (2022). A novel ant colony algorithm for solving shortest path problems with fuzzy arc weights. *Alexandria Engineering Journal*, 61(5), 3403-3415.
- [20] Yen, C. T., & Cheng, M. F. (2018). A study of fuzzy control with ant colony algorithm used in mobile robot for shortest path planning and obstacle avoidance. *Microsystem Technologies*, 24(1), 125-135.
- [21] Zhang, S., & Zhang, Y. (2018). A hybrid genetic and ant colony algorithm for finding the shortest path in dynamic traffic networks. *Automatic control and computer Sciences*, 52(1), 67-76.
- [22] Dikmen, H., DİKMEN, H., Elbir, A., Ekşi, Z., & Çelik, F. (2014). Gezgin satıcı probleminin karınca kolonisi ve genetik algoritmalarla eniyilemesi ve karşılaştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(1), 8-13.
- [23] Serin, S. (2009). Karınca kolonisi yaklaşımıyla karayolu üstyapı rutin bakım çalışmalarının planlanması (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [24] Cinsdikici, M. G., & Aydın, D. (2009). Detection of blood vessels in ophthalmoscope images using MF/ant (matched filter/ant colony) algorithm. *Computer methods and programs in biomedicine*, 96(2), 85-95.
- [25] Katoch, S., Chauhan, S. S., & Kumar, V. (2021). A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimedia Tools and Applications*, 80(5), 8091-8126.



Migren tanısında öncü sinyal ayrıştırma yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılması

Comparison of Performance of Pioneering Signal Decomposition Methods in the Diagnosis of Migraine

Zülfikar ASLAN^{1*}

¹Gaziantep Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, zulfikaraslan@gantep.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2706-5715>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 14 Nisan 2022
Revizyon 29 Temmuz 2022
Kabul 02 Eylül 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

Migren Teşhisi,
Elektroensefalografi, Ayrıştırma Yöntemleri, Ampirik Mod Ayrıştırması, Ayarlanabilir Q Faktörü Dalgacık Dönüşümü, Ampirik Dalgacık Dönüşümü

ÖZ

Bu çalışma, migren hastalığını (MH) Elektroensefalogram (EEG) verisi kullanarak otomatik olarak teşhisini gerçekleştirmek amacıyla bir bilgisayar destekli tanı sistemi sunmaktadır. Ayrıca önerilen yöntemin farklı ayrıştırma yöntemleri ile test edilerek karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilmiştir. EEG sinyalleri Çok Ölçekli Temel Bileşen Analizi (MSPCA) uygulanarak var olan gürültüler giderildikten sonra, Ayarlanabilir Q Faktör Dalgacık Dönüşümü (TQWT), Ampirik Mod Ayrıştırma (EMD) ve Ampirik Dalgacık Dönüşümü (EWT) ayrıştırma yöntemleri ile içsel mod fonksiyonları (IMF) bileşenlerine ayrılmıştır. Her bir IMF bileşeninden istatistiksel özellikler hesaplanarak özellik çıkarım işlemi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma performansları, her bir IMF bileşeninin özellikleri, Rastgele Orman algoritması ile sınıflandırılarak test edilmiştir. En yüksek sınıflandırma doğruluğu IMF1 ve IMF2 bileşenlerinden elde edilmiştir. IMF1 bileşenine ait özelliklerin Rastgele Orman algoritması ile sınıflandırılmasıyla TQWT için 88.9%, EMD için 92.47% ve EWT için 81.41% sınıflandırma başarımı elde edilmiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen deneysel çalışmalar da EMD ayrıştırma yöntemi karşılaştırılan diğer yöntemlere göre MH ve sağlıklı kontrol deneklerin ayırt edilmesinde iyi bir performans sergilediği gözlemlenmiştir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 April 2022
Received in revised form 29 July 2022
Accepted 02 September 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Migraine Diagnosis,
Electroencephalography,
Decomposition Methods, Empirical Mode Decomposition, Tunable Q Factor Wavelet Transform, Empirical Wavelet Transform

ABSTRACT

This study presents a computer aided diagnosis system to automatically diagnose migraine disease (MD) using Electroencephalogram (EEG) data. In addition, a comparative analysis of the proposed method was carried out by testing it with different decomposition methods. First of all, the noise is removed by applying Multiscale Principal Component Analysis (MSPCA) to the EEG data taken from each electrode. In the next step, the data received from each channel was decomposed into intrinsic mode functions (IMF) sub bands using the Tunable Q Factor Wavelet Transform (TQWT), Empirical Mode Decomposition (EMD) and Empirical Wavelet Transform (EWT) decomposition methods. Feature extraction was performed by calculating statistical features from each IMF component. The classification accuracy of the statistical features calculated for each IMF component was tested with the Random Forest classification algorithm. The highest classification accuracy was obtained from IMF1 and IMF2 components. Classification performances of 88.9% for TQWT, 92.47% for EMD and 81.41% for EWT were obtained by classifying the features of the IMF 1 component with the Random Forest classifier. In the experimental studies performed in this study, it was noticed that the EMD decomposition method performed well in differentiating MD and healthy control subjects compared to other compared methods.

Doi: 10.24012/dumf.1103391

* Sorumlu Yazar

Giriş

Migren hastalığı (MH), birden fazla belirti gösterebilen nörolojik bir hastalıktır. Genellikle şiddetli baş ağrıları ile ayırt edilir. Ayrıca kusma, bulantı, uyuşukluk ve ışığa duyarlılık gibi belirtilerle kendini gösterir. Uzman, bir dizi testi değerlendirerek ve hastanın klinik geçişini araştırarak migreni belirler. MH baş ağrısının en yaygın kategorileri auralı ve aurasız migrendir [1]. EEG sinyallerinden MH tespiti bazen bir uzman için bile zor olabilir. Bu amaçla otomatik teşhis ve hastalığın nedenlerinin araştırılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir [2], [3].

Elektroensefalogram (EEG), manyetik rezonans (MRI), bilgisayarlı tomografi (BT), fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) gibi araçlar, migren tespitinde uzman görüşünü desteklemek için kullanılmaktadır. Bu araçlar arasında EEG hem düşük maliyet hem de düşük donanım gereksinimleri gerektirdiği için daha çok tercih edilmektedir. EEG sinyalleri beyindeki milyarlara nöronal ağına elektriksel ölçümünü sağlar. EEG, hastalıkları otomatik olarak tespit etmeyi amaçlayan makine öğrenimi ve makine öğrenimi tabanlı bilgisayar destekli tanı (CAD) sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Bu amaçla literatürde epilepsi, şizofreni, migren gibi birçok hastalığın tespiti için geliştirilmiş EEG tabanlı CAD sistemleri bulunmaktadır [4]–[8].

Yin ve ark. [9] yaptıkları çalışmada migrenin saptanmasında bir klinik karar destek sistemi önermişlerdir. Önerilen çalışmada gerilim tipi baş ağrısı ile olası migreni ayırt etmeyi amaçlamışlardır. Özellik olarak klinik gözlem ve değerlendirmelerden elde ettikleri sonuçları kullanmışlardır. Bu özellikler en yakın komşu (KNN) öğrenme algoritması ile sınıflandırılmış ve %90 sınıflandırma doğruluğuna ulaşmıştır. Başka bir çalışmada Krawczyk ve ark. [10], baş ağrısını tespit etmek için birkaç makine öğrenme algoritması kullanarak yöntemlerini test ettikleri bir klinik karar destek sistemi önermişlerdir. Önerdikleri yöntemle %81 sınıflandırma başarıları elde etmişlerdir.

Yukarıda bahsedilen migren tespiti için klinik karar destek sistemi tabanlı çalışmalara ek olarak, migren tespiti için EEG sinyallerini kullanan çalışmalar da bulunmaktadır. Bir çalışmada, Akben ve ark. [7], MH tespiti için her EEG kanalına Burg-AR yöntemini uygulayarak beta bandını işlemişlerdir. Bu banttan elde edilen öznelikleri Destek Vektör Makinaları (DVM) algoritması ile sınıflandırmışlar ve migreni %83,3 doğrulukla ayırt etmişlerdir. Subaşı et al. [11] çalışmalarında EEG sinyalinden migreni saptamak için bir yöntem önermişler ve çalışmalarında migren tespitinde fotik uyarının etkisini araştırmışlardır. Farklı öğrenme algoritmaları ile verilerine ayırık dalgacık dönüşümü uygulayarak elde ettikleri öznelikleri sınıflandırarak yöntemlerinin doğruluğunu test etmişlerdir. Bu algoritmalar arasında en yüksek sınıflandırma doğruluğu %85,95 ile Rastgele Orman algoritmasında elde edilmiştir. Akben et al. [12] başka bir çalışmada migren tespiti için flaş uyarısı altında EEG sinyallerini analiz etmeyi amaçlayan bir yöntem

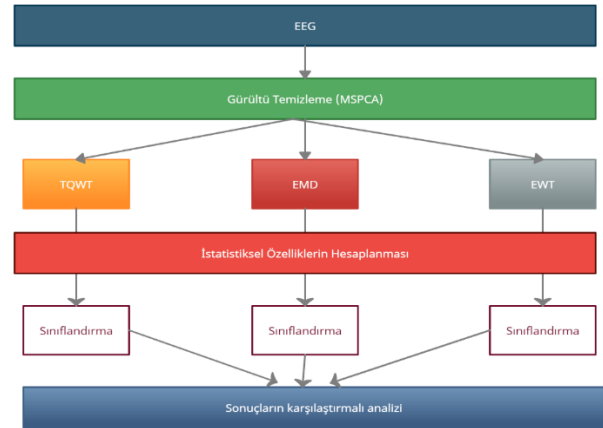
sunmuştur. Önerilen yöntem ile 6 Hz, 4 Hz ve 2 Hz flaş uyarma frekansı altında güç spektrumları elde edilmiştir. Bu değerleri yapay sinir ağı ile eğiterek %85 sınıflandırma performansı göstermişlerdir. İlgili literatür çalışmaları incelendiğinde sınıflandırma doğruluğunun iyileştirilmesi önemli bir ihtiyaç olarak görülmektedir.

Bu çalışma da EEG sinyallerinden migren tespiti için TQWT, EMD ve EWT ayrıştırma yöntemleri kullanılarak karşılaştırmalı analizi sunulmuştur. İlgili literatürde ilk kez EEG sinyallerinden MH teşhisinde ayrıştırma yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi sunulmaktadır. Ayrıca Rastgele Orman (RO) makine öğrenme algoritması kullanılarak migren tespitindeki en iyi başarımların sonucu elde edilmeye çalışılmıştır.

Metot Ve Materyal

Bu başlık ilk olarak veri kümesi açıklamalarını, analiz yöntemini ve diğer ön işleme adımlarını sunmaktadır. Önerilen yöntem bir sonraki adımda sunulmuştur. Şekil 1, EEG sinyallerinden migreni tespit etmek için ayrıştırma yöntemlerini karşılaştıran önerilen yöntemin akış diyagramını göstermektedir. Sunduğumuz çalışma aşağıdaki adımları içermektedir:

- Sinyalden gürültünün giderilmesi (MSPCA yöntemi ile).
- EEG sinyallerinin her bir ayrıştırma yöntemi için ayrı değerlendirilecek alt bantlara ayrıştırılması.
- Elde edilen alt bantlardan istatistiksel özelliklerin hesaplanması.
- Her bir ayrıştırma yönteminin sınıflandırma performansının RO algoritması kullanılarak test edilmesi.



Şekil 1. Önerilen yöntemin akış diyagramı

Veri Toplama Ve Ön İşlem

Bu çalışmada kullanılan EEG kaydı, 21 baş ağrısı olmayan sağlıklı deneği (ortalama yaş 27.9 yıl, yaş Aralığı 19-54 yıl, 9 erkek ve 12 kadın) ve 18 yetişkin migren (ortalama yaş 27.6 yıl, yaş Aralığı 19-54.5, 6 erkek ve 12 kadın) verilerini içerir. EEG kayıtları Carnegie Mellon Üniversitesi tarafından açık kaynak olarak erişime sunulmuştur. Uluslararası Baş Ağrısı Derneği standartlarına göre migren denekler 6 aurasız migren ve 12 auralı migren olarak sınıflandırılmıştır. EEG kayıtları,

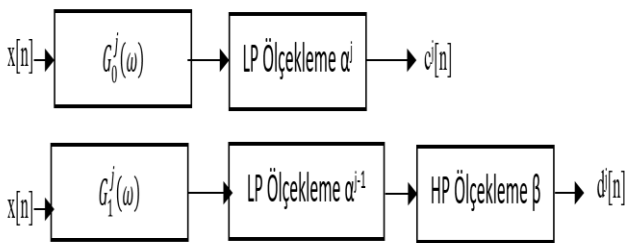
24 bitlik bir A/D dönüştürücü ve 128 kanallı bir Bio Semi Active Two sistemi kullanılarak dinlenme durumunda kaydedilmiştir. Dinlenme durumunda yapılan kayıtlar 512 Hz örnekleme frekansına ve yaklaşık 6 dakikalık bir süreye sahiptir. Katılımcılardan EEG kaydı sırasında gözlerini açık tutmaları ve ortadaki siyah haç işaretine sabitlemeleri istenmiştir [13].

MSPCA, Dalgacık Analizi ile Temel Bileşen Analizinin (PCA) üstün özelliklerinin birleştirilmesiyle kullanılan bir analiz yöntemidir. Dalgacık analizi, sinyalin önemli özelliklerini çıkarmak için kullanılırken, PCA, sinyalin özellikleri arasındaki doğrusal ilişkileri belirlemek için uygulanır. MSPCA'nın çok ölçekli doğası nedeniyle, değişen sinyallerin analizi ve gürültü giderme işlemleri için kullanılabilir [14]. Bu nedenle önerilen yöntemimizde, MSPCA yöntemi kullanılarak ham EEG sinyalinin gürültüleri giderilmiştir.

Ayarlanabilir Q Faktör Dalgacık Dönüşümü

Salınımlı sinyal analizi için Ayarlanabilir Q Faktör Dalgacık Dönüşümü (TQWT) etkili bir araç olarak kullanılabilir [15]. Q, r ve j ayarlanabilir parametreleridir. Q parametresi Q faktörünü, r parametresi yüksek hızda örnekleme oranını ve j parametresi ise ayrışma seviyesini belirtmektedir. Q parametresi dalgacık salınımlarının sayısının kontrolü amacıyla kullanılır. Sinyal üzerinde istenmeyen aşırı salınım değerleri ise r tarafından denetlenir. TQWT yapısında bulunan temel filtre kümeleri frekans alanında belirtilebilir. Bu filtreler rasyonel olmayan aktarım işlevleridir ve zaman frekans analizinde etkili olarak kullanılabilir [16].

Salınımlı hiç olmayan veya çok az olan sinyaller için dalgacık dönüşümlerinin düşük bir Q faktörüne sahip olması gerekirken salınımlı sinyallerin analizinde yüksek bir Q faktör değeri gerekmektedir. TQWT yöntemi bu Q değerinin parametrik olarak ayarlanabilmesine izin vermektedir. Bunun yanında TQWT çeşitli fizyolojik sinyallerin analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır [8], [17], [18]. Rasyonel transfer fonksiyonları kullanmasından dolayı filtreler hesaplama açısından başarılıdır. Bu durum sinyalin frekans alanında doğrudan temsilini elde edilmesine olanak sağlar. Şekil 2'de TQWT ayrıştırma yönteminin çalışma yapısı diyagram olarak gösterilmektedir.



Şekil 2. TQWT ayrıştırma yönteminin genel blok diyagramı.

Ampirik Mod Ayrıştırma

EEG sinyalinin periyodik olmayan ve durağan olmayan doğası, zaman-frekans analizinde anormal durumların tespit edilmesinde zorluklara neden olur. Bu nedenle,

sinyalin uygun şekilde analiz edilebilmesi için sinyalin durağan olması gerekir. EMD, periyodik olmayan ve durağan olmayan bir sinyali, genlik modülasyonu (AM) ve frekans modülasyonu (FM) ile sonlu sayıda içsel mod bileşenlerine (IMF'ler) ayrıştırır. Bu IMF bileşenleri, sabit sinyalli dar bant simetrik dalga yapıları olarak ele alınabilir. EMD tarafından ayrıştırılan sinyal, sonlu sayıda IMF ve artık değerin toplamı olarak ifade edilebilir.

$$x(t) = \sum_{m=1}^k IMF_m(t) + r_k(t) \quad (1)$$

Formül (1)'de k, IMF numarasıdır ve rk(t) nihai artık değerdir. Orijinal sinyal, IMF bileşenleri ve artık değer [4], [19] toplanarak geri kazanılabilir. EMD yöntemiyle elde edilen IMF bileşenlerinin yapısı, örnekleme frekansının karşılık gelen en yüksek frekansın yaklaşık beş katı olması koşuluyla frekans bantları olarak tanımlanabilecek bir filtre bankasına benzetilebilir [20]. EMD yöntemi öncelikle yüksek frekans bileşenlerini tahmin etmektedir.

Referans [21]'de yazarlar, IMF1 bileşeninin Gama bandı, IMF2 bileşeninin Beta bandı, IMF3 bileşeninin Alfa bandı, IMF4 bileşeninin Delta bandı ve IMF5 ile IMF6 bantlarının ise Theta bandı salınımlarını temsil ettiğini belirtmişlerdir. Ek olarak, birkaç başka çalışma, IMF1 bileşeninin sinyalin gama bandını temsil ettiği fikrini desteklemektedir [22], [23]. IMF1 bileşeninin seçilmesi, Fourier tabanlı yüksek geçişli filtreleme ile karşılaştırılabilir. Fourier filtrelemede, belirli bir kesme frekansının dışındaki bileşenler kaldırılır. Ancak, EMD yöntemi, Fourier filtrelemedesinin aksine, bir kesim frekansının altındaki bileşenleri kaldırmaz. Bu nedenle, gama bandı değerleri IMF1 ve IMF2 bileşenleri arasında değişebilir [24].

Ampirik Dalgacık Dönüşümü

Jerome Gilles [25], belirli bir sinyali farklı modlara ayırmak için açıkça ayarlanabilir bir dalgacık filtre bankası oluşturan Ampirik Dalgacık Dönüşümü adlı yeni bir ayarlanabilir veri analizi yöntemini tanıtmıştır. EWT ayrıca, bir sinyalden AM-FM bileşenlerini çıkarmayı EMD gibi amaçlar. EWT, zamansal uzayda çalışan EMD'nin aksine frekans uzayında çalışır; güçlü bir matematiksel altyapı tarafından desteklenen sezgisel, doğrudan ve ayarlanabilir bir algoritmadır.

EWT, işlenen sinyale uyarlanmış bir dalgacık ailesi oluşturmak için bir yöntem önerir. Fourier bakış açısı düşünüldüğünde, bu yapı bir dizi bant geçiren filtre oluşturmaya eşdeğerdir. Fikir, iyi seçilmiş "Fourier desteklerine (yani sinyal spektrumunda ilgili modların seçilmesiyle) dayalı olarak bir N dalgacık filtresi (ayrıntı bileşenlerine karşılık gelen bir düşük geçiş ve $N - 1$ bant geçiş filtresi) tanımlamaktan ibarettir [26].

İstatistiksel Özelliklerin Hesaplanması

Bu başlıkta, ayrıştırma yöntemi uygulanan sinyallerin istatistiksel özellikleri hesaplanmış ve bu özelliklerin sınıflandırma performansına etkileri araştırılmıştır.

İstatistiksel hesaplamalarla sinyalden çıkarılan özellikler şunlardır: medyan, minimum, maksimum, ortalama, varyans, standart sapma, ortalama karekök, aykırı değerler hariç ortalama (trimmean), çeyrek (Q1, Q2, Q3, Q4), çeyrekler arası aralık, basıklık, shannon entropisi, çarpıklık, log enerji entropisi, hjorth parametreleri (aktivite, hareketlilik, karmaşıklık).

Migren Ve Sağlıklı Deneklerinin Sınıflandırma Süreci

Her bir alt bileşenden çıkarılan istatistiksel özellikler Rastgele Orman sınıflandırıcıları ile sınıflandırılarak elde edilen sonuçların karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işleminde çapraz doğrulama değeri 10 alınarak sınıflandırma performansı test edilmiştir. Sınıflandırma başarımının test edilmesi amacıyla Doğruluk, Duyarlılık (Geri Çağırma, TP Oran), Kesinlik, F-Ölçütü, ROC Alanı ve FP Oran, Matthews Korelasyon Katsayısı (MCC) değerlendirme metrikleri kullanılmıştır. Değerlendirme metriklerine ait hesaplamaların formülleri aşağıda gösterilmektedir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Geri Çağırma} = \frac{TP}{TP+FN} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Özgüllük} = \frac{TN}{TN+FP} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Hassasiyet} = \frac{TP}{TP+FP} \times 100 \quad (4)$$

$$F1 \text{ Ölçütü} = 2 * \frac{\text{hassasiyet} * \text{geri çağırma}}{\text{hassasiyet} + \text{geri çağırma}} \times 100 \quad (5)$$

$$MCC = \frac{(TP \times TN) - (FP \times FN)}{\sqrt{(TP+FP)(TP+FN)(TN+FP)+(TN+FN)}} \quad (6)$$

Deneyel Çalışmalar

Bu çalışmada, deneklerin sinyallerini TQWT, EMD ve EWT yöntemiyle beş IMF bileşenine ayırarak MH ve sağlıklı deneklerin sınıflandırma performansları değerlendirilmiştir. IMF değerleri arttıkça sınıflandırma doğruluğunun azaldığı gözlemlendiğinden, daha fazla IMF bileşenine ayırtmaya gerek duyulmamıştır. EEG sinyalinin yapısına bağlı olarak, sinyalden elde edilen IMF sayısı değişmektedir. İlk IMF bileşeninin daha yüksek frekans bileşenlerini yakalayabildiği ve daha sonra IMF'lerin daha düşük ortalama frekanslara sahip olduğu genel olarak bilinmektedir [4].

EEG sinyallerine ait tüm kanallar öncelikle önerilen ayırtma yöntemleriyle alt bantlarına ayırılır. Deneyel çalışmalar sürecinde değerlendirmeler ilk beş alt bant göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. TQWT ayırtma yönteminde Q=1, r=3 ve J=4 alınarak gerçekleştirilmiştir. EMD ve EWT ayırtma yöntemleri için ise Matlab yazılımının varsayılan parametreleri kullanılmıştır. EEG kayıtları arasındaki küçük zaman farkları nedeniyle, tüm kanalların veri uzunluğu 195.000 uzunluğunda bir vektör olarak alınmıştır. İlk olarak, EEG kayıtlarındaki gürültüyü ortadan kaldırmak için her bir

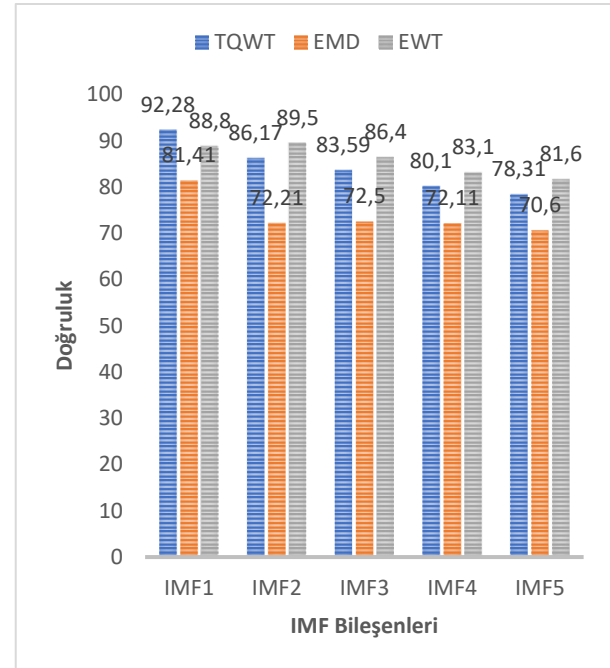
EEG kanalına MSPCA yöntemi uygulanmıştır. Ayırılan her bir kanaldan istatistiksel özellikler hesaplanarak özellik çıkarım işlemi yapılmıştır. Her bir alt bileşen için, migren denekler (18 migren x 128 kanal sayısı) ve sağlıklı denekler için (21 sağlıklı x 128 kanal sayısı) toplam uzunluğu (4492x20) olan bir matris elde edilmiştir. MH ve sağlıklı deneklerinin sınıflandırma performansı, her ayırtma yönteminin her bir alt bileşeni için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tüm deneysel çalışmalar Matlab yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Sonuçlar Ve Tartışma

Tablo 1.'de çalışmada kullanılan ayırtma yöntemleriyle farklı IMF bileşenlerinden elde edilen özelliklerin RO sınıflandırıcısı ile sınıflandırılmasıyla elde edilen doğruluk değerleri gösterilmektedir. Tablo 1 incelendiğinde MH ve sağlıklı deneklerin ayırt edilmesinde IMF1 ve IMF2 bileşenlerinin daha yüksek sınıflandırma performansına sahip olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 3'de TQWT ve EMD, EWT ile elde edilen IMF bileşenlerinden hesaplanan özelliklerin sınıflandırılmasıyla elde edilen doğruluk değerleri grafik olarak gösterilmektedir.

Tablo 1. Farklı ayırtma yöntemlerine ait sınıflandırma doğrulukları.

	IMF1	IMF2	IMF3	IMF4	IMF5
TQWT	88.8	89.5	86.4	83.1	81.6
EMD	92.28	86.17	83.59	80.1	78.36
EWT	81.41	72.21	72.5	72.11	70.6



Şekil 3. Farklı IMF bileşenlerinden elde edilen özelliklerin RO sınıflandırıcısı ile sınıflandırılmasıyla elde edilen doğruluk değerleri.

Tablo 2. Farklı ayrıştırma yöntemlerinin IMF 1 bileşenlerine ait özelliklerin sınıflandırılmasıyla elde edilen değerlendirme metrikleri

	TP Oranı	FP Oranı	Keskinlik	Duyarluluk	F Ölçütü	M CC	ROC Alanı	Doğruluk
TQ			0.88			0.7		
WT	0.883	0.125	5	0.883	0.882	7	0.952	0.888
EM			0.92			0.8		
D	0.923	0.081	3	0.923	0.923	45	0.975	0.922
EW			0.81			0.6		
T	0.817	0.19	7	0.817	0.816	31	0.902	0.816

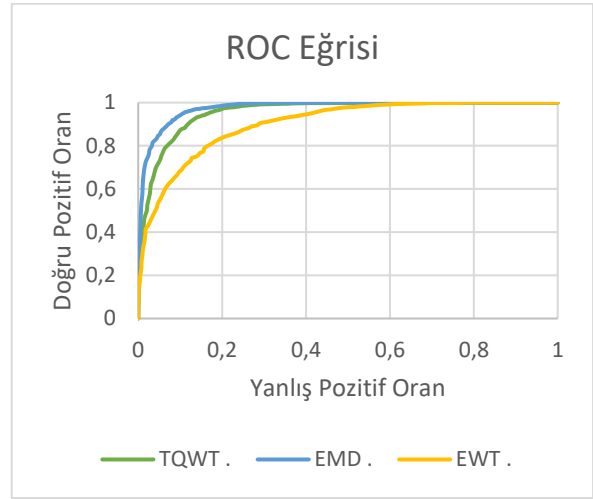
Tablo 3. EMD yöntemiyle elde edilen alt bantlara ait özelliklerin DVM algoritması ile sınıflandırılmasıyla elde edilen doğruluk değerleri

	IMF1	IMF2	IMF3	IMF4	IMF5
c=5	67.7	64.4	65.2	67.1	66.9
c=10	69.4	64.8	65.1	67.4	67.3
c=15	70.5	64.9	65.2	67.4	67.4
c=20	71.2	65	65.2	67.6	67.4
c=25	71.3	65.2	65.2	67.7	67.5

Tablo3'de EMD yöntemiyle elde edilen alt bileşenlere ait özelliklerin farklı c parametreleri kullanılarak DVM sınıflandırıcısı ile sınıflandırılarak elde edilen doğruluk değerlerini göstermektedir. Sonuçlar RO sınıflandırıcısının migren ve sağlıklı kontrolü ayırt etmede daha başarılı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

		Tahmin				Tahmin			
		HC	MD			HC	MD		
Gerçek	TQWT	HC	2506	182	Gerçek	EWT	HC	2303	385
	MD	375	1929	MD		529	1775		
Gerçek	EMD	HC	2568	120	Gerçek	HC	2568	120	
		MD	256	2048		MD	256	2048	

Şekil 4. Farklı ayrıştırma yöntemlerine ait IMF1 bileşenlerinin sınıflandırılmasıyla elde edilen karmaşıklık matrisleri.



Şekil 5. Farklı ayrıştırma yöntemlerine ait IMF1 bileşenlerinin sınıflandırılmasıyla elde edilen ROC eğrisi.

Tablo 2' de TQWT, EMD ve EWT ayrıştırma yöntemleriyle elde edilen IMF1 bileşenine ait özelliklerin RO sınıflandırıcısı ile sınıflandırılmasıyla elde edilen değerlendirme metrikleri gösterilmektedir. Her bir yöntem için özellikle IMF1 ve IMF 2 bileşenlerinin MH ve sağlıklı deneklerin ayırt edilmesinde daha yüksek sınıflandırma başarısına sahip olduğu görülmektedir. Ancak en yüksek sınıflandırma performansı, EMD ayrıştırma yönteminin IMF bileşeniyle 92.28% sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir.

Önerilen yöntemin sınıflandırma performansını daha net ifade edebilmek için Şekil 4, IMF1 bileşeninden elde edilen özneliklerin RO ile farklı ayrıştırma yöntemleri kullanılarak sınıflandırılmasıyla elde edilen Karmaşıklık Matrisi değerlerini göstermektedir. Sağlıklı deneklerinin en yüksek doğru tahmini 2586 (%95.5) ve MH deneklerinin en yüksek doğru tahmini 2048 (%88.9) olarak sınıflandırıldı. Aynı şekilde EMD yöntemi ile sağlıklı deneklerin en düşük yanlış tahmini 120 (%4,5),MH deneklerin yanlış tahmini ise 256 (%11,1) olarak hesaplanmıştır. Sınıflandırma performansını daha iyi analiz edebilmek için Şekil 5, farklı ayrıştırma yöntemleri kullanılarak IMF1 bileşeninden elde edilen ROC eğrisini göstermektedir. Şekil 5'da gösterilen ROC eğrisi, RO sınıflandırıcısı kullanılarak elde edilmiştir. ROC eğrisi ve altındaki alan (AUC) metrikleri, literatürde sınıflandırma performansını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan önemli bir değerlendirme metriğidir. Şekil 5'da görüldüğü gibi önerilen yöntemle EMD için en yüksek ROC Alanı (AUC) değeri %97,6 olarak elde edilmiştir. EMD yöntemi ile gerçek pozitif değer %92,5 olarak elde edilirken, yanlış pozitif değer %8 olarak elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar, önerilen yöntemle MH ve sağlıklı deneklerinin ayırt edilmesinde EMD ayrıştırma yönteminin yüksek bir sınıflandırma doğruluğuna sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 3. İlgili literatürde bilgisayar destekli tanı sistemi kullanarak MH tespiti gerçekleştiren çalışmalar

	Sınıflandırma	Özellik Çıkarımı	Veri Seti	Doğruluk
Yin ve ark. [9]	k-En Yakın Komşu(KNN)	ICA	Klinik Görüşme	90%
Krawczyk ve ark.[10]	Rastgele Orman	ReliefF Greedy	Klinik Görüşme	81%
Akben ve ark.[7]	Vektör Destek Makinaları (SVM)	AR Burg	EEG (30 MH, 30 sağlıklı)	85%
Subasi ve ark. [11]	Rastgele Orman	DWT	EEG(15 MH, 15 sağlıklı)	85.95%
Akben ve ark. [12]	Yapay Sinir Ağları (ANN)	AR Burg	EEG (15 MH, 15 sağlıklı)	83.3%
Jackowski ve ark. [27]	LADTree NB NBTree RBFNetwork	Backward Feature Eliminasyon	Klinik Görüşme	75.9%
Önerilen Yöntem	Rastgele Orman	TQWT EMD EWT	EEG (18 MH, 21 sağlıklı)	88.8% 92.28% 81.4%

Bilinen ilgili literatür çalışmalarında EEG sinyallerinden MH tespiti gerçekleştiren çalışmalar da ayrıştırma yöntemlerinin performanslarını karşılaştıran bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yönüyle bu çalışma önden gelen ayrıştırma yöntemlerinin MH ve sağlıklı deneklerin ayırt edilmesindeki performanslarının analizini ortaya koymaktadır. Çalışmada her ayrıştırma yöntemi için IMF1 ve IMF2 bileşenlerine ait özelliklerin MH tespitinde daha başarılı olduğu görülmektedir. Bu durum yüksek frekanslı bilgilerin MH ve sağlıklı deneklerin ayırt edilmesinde önemli bilgiler taşıdığını göstermektedir.

Sonuç

Bu çalışmada, EEG sinyallerinden MH ve sağlıklı deneklerinin sınıflandırılması ile ilgili literatürde ilk kez ayrıştırma yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi sunulmaktadır. Öncelikle EEG sinyalinin her bir kanalına ait verilere gürültüleri gidermek amacıyla MSPCA yöntemi uygulanmıştır. Sonraki aşamada ise her ayrıştırma yöntemi için ilk beş IMF bileşeni elde edilmiştir. Elde edilen IMF bileşenleri üzerinde istatistiksel özellikler hesaplanarak özellik çıkarım işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen özellikler RO sınıflandırıcı ile sınıflandırılmış ve en yüksek sınıflandırma başarımlarının IMF1 ve IMF2 bileşenlerinden elde edilen özellikler ile elde edildiği gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda EEG sinyallerinden migren teşhisinde EMD yöntemiyle gerçekleştiren sınıflandırma başarımlarının daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur. Bu durum yüksek frekans bileşenlerinin MH ve sağlıklı deneklerin

ayırt edilmesinde önemli farklılıklar içerdiğini ortaya koymaktadır.

Etik Kurul Onayı Ve Çıkar Çatışması Beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- [1] D. Weatherspoon, "Everything You Want to Know About Migraine," 2017. [Online]. Available: <https://www.healthline.com/health/migraine>. [Accessed: 17-Sep-2021].
- [2] V. Ulrich, M. Gervil, K. O. Kyvik, J. Olesen, and M. B. Russell, "Evidence of a genetic factor in migraine with aura: a population-based Danish twin study," *Ann. Neurol. Off. J. Am. Neurol. Assoc. Child Neurol. Soc.*, vol. 45, no. 2, pp. 242–246, 1999. [https://doi.org/10.1002/1531-8249\(199902\)45:2%3C242::AID-ANA15%3E3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/1531-8249(199902)45:2%3C242::AID-ANA15%3E3.0.CO;2-1)
- [3] Z.-H. Cao, L.-W. Ko, K.-L. Lai, S.-B. Huang, S.-J. Wang, and C.-T. Lin, "Classification of migraine stages based on resting-state EEG power," in 2015 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2015, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2015.7280582>
- [4] S. Siuly, S. K. Khare, V. Bajaj, H. Wang, and Y. Zhang, "A Computerized Method for Automatic Detection of Schizophrenia Using EEG Signals," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 2020. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2020.3022715>
- [5] Z. ASLAN and M. AKIN, "A COMPARISON OF HEURISTIC SEARCH ALGORITHMS IN AUTOMATIC DETECTION OF SCHIZOPHRENIA," in 4TH INTERNATIONAL ENERGY & ENGINEERING CONGRESS, 2019, pp. 1248–1258.
- [6] Z. ASLAN and M. AKIN, "Automatic detection of schizophrenia by applying deep learning over spectrogram images of EEG signals," *Trait. du Signal*, 2020. <https://doi.org/10.18280/ts.370209>
- [7] S. B. Akben, D. Tuncel, and A. Alkan, "Classification of multi-channel EEG signals for migraine detection.," *Biomed. Res.*, vol. 27, no. 3, pp. 743--748, 2016.
- [8] A. R. Hassan, S. Siuly, and Y. Zhang, "Epileptic seizure detection in EEG signals using tunable-Q factor wavelet transform and bootstrap aggregating," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 137, pp. 247–259, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2016.09.008>
- [9] Z. Yin, Z. Dong, X. Lu, S. Yu, X. Chen, and H. Duan, "A clinical decision support system for the

- diagnosis of probable migraine and probable tension-type headache based on case-based reasoning,” *J. Headache Pain*, vol. 16, no. 1, pp. 1–9, 2015. <https://doi.org/10.1186/s10194-015-0512-x>
- [10] B. Krawczyk, D. Simić, S. Simić, and M. Woźniak, “Automatic diagnosis of primary headaches by machine learning methods,” *Cent. Eur. J. Med.*, vol. 8, no. 2, pp. 157–165, 2013. <https://doi.org/10.2478/s11536-012-0098-5>
- [11] A. Subasi, A. Ahmed, E. Aličković, and A. R. Hassan, “Effect of photic stimulation for migraine detection using random forest and discrete wavelet transform,” *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 49, pp. 231–239, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2018.12.011>
- [12] S. B. Akben, A. Subasi, and D. Tuncel, “Analysis of repetitive flash stimulation frequencies and record periods to detect migraine using artificial neural network,” *J. Med. Syst.*, vol. 36, no. 2, pp. 925–931, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10916-010-9556-2>
- [13] M. Chaman Zar, Alireza; Haigh, Sarah; Grover, Pulkit; Behrmann, “Ultra high-density EEG recording of interictal migraine and controls: sensory and rest. Carnegie Mellon University. Dataset,.” 2020.
- [14] B. R. Bakshi, “Multiscale PCA with application to multivariate statistical process monitoring,” *AIChE J.*, vol. 44, no. 7, pp. 1596–1610, 1998. <https://doi.org/10.1002/aic.690440712>
- [15] I. W. Selesnick, “Wavelet transform with tunable Q-factor,” *IEEE Trans. signal Process.*, vol. 59, no. 8, pp. 3560–3575, 2011. <https://doi.org/10.1109/TSP.2011.2143711>
- [16] S. Patidar and R. B. Pachori, “Classification of cardiac sound signals using constrained tunable-Q wavelet transform,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 41, no. 16, pp. 7161–7170, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.05.052>
- [17] V. Bajaj, S. Taran, S. K. Khare, and A. Sengur, “Feature extraction method for classification of alertness and drowsiness states EEG signals,” *Appl. Acoust.*, vol. 163, p. 107224, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107224>
- [18] S. K. Khare and V. Bajaj, “Constrained based tunable Q wavelet transform for efficient decomposition of EEG signals,” *Appl. Acoust.*, vol. 163, p. 107234, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107234>
- [19] C. Amo, L. De Santiago, R. Barea, A. López-Dorado, and L. Boquete, “Analysis of gamma-band activity from human EEG using empirical mode decomposition,” *Sensors*, vol. 17, no. 5, p. 989, 2017. <https://doi.org/10.3390/s17050989>
- [20] N. E. Huang et al., “The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis,” *Proc. R. Soc. London. Ser. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 454, no. 1971, pp. 903–995, 1998. <https://doi.org/10.1098/rspa.1998.0193>
- [21] F.-F. Tsai, S.-Z. Fan, Y.-S. Lin, N. E. Huang, and J.-R. Yeh, “Investigating power density and the degree of nonlinearity in intrinsic components of anesthesia EEG by the Hilbert-Huang transform: an example using ketamine and alfentanil,” *PLoS One*, vol. 11, no. 12, p. e0168108, 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168108>
- [22] H. Liang, S. L. Bressler, R. Desimone, and P. Fries, “Empirical mode decomposition: a method for analyzing neural data,” *Neurocomputing*, vol. 65, pp. 801–807, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2004.10.077>
- [23] C.-H. Hsu, C.-Y. Lee, and W.-K. Liang, “An improved method for measuring mismatch negativity using ensemble empirical mode decomposition,” *J. Neurosci. Methods*, vol. 264, pp. 78–85, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2016.02.015>
- [24] H. Liang, S. L. Bressler, E. A. Buffalo, R. Desimone, and P. Fries, “Empirical mode decomposition of field potentials from macaque V4 in visual spatial attention,” *Biol. Cybern.*, vol. 92, no. 6, pp. 380–392, 2005. <https://doi.org/10.1007/s00422-005-0566-y>
- [25] J. Gilles, “Empirical wavelet transform,” *IEEE Trans. signal Process.*, vol. 61, no. 16, pp. 3999–4010, 2013. <https://doi.org/10.1109/TSP.2013.2265222>
- [26] V. S. Geetikaverma, “Empirical Wavelet Transform & its Comparison with Empirical Mode Decomposition: A review,” *Int. J. Appl. Eng.*, vol. 4, no. 5, 2016.
- [27] K. Jackowski, D. Jankowski, D. Simić, and S. Simić, “Migraine diagnosis support system based on classifier ensemble,” in *International Conference on ICT Innovations*, 2014, pp. 329–339. http://www.doi.org/10.1007/978-3-319-09879-1_33



Gerçek Hayat Verileriyle Makine Öğrenmesi Algoritmalarına Dayalı Otobüs Durak Süresi Tahmini

Bus Stop Time Prediction Based on Machine Learning Algorithms with Real-Life Data

Kevser Şahinbaş

İstanbul Medipol Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, ksahinbas@medipol.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8076-3678>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 23 Mayıs 2022
Revizyon 29 Temmuz 2022
Kabul 01 Ağustos 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

tahmin, otobüs varış süresi, toplu taşıma, veri yönetimi, YSA, DVR

ÖZ

Toplu taşıma sistemleri, gelişmekte olan ülkelerde ve nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde büyük bir önem arz etmektedir. Yüksek popülasyona sahip şehirlerde kent içi aktif ulaşım süreçlerinin ve buna yönelik ihtiyaçların giderek yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Bu gereksinimden doğan araç sayısı fazlalığı ve yoğun trafik, büyük bir zaman dilimini kapsayarak günlük yaşamımızın önemli bir parçası haline gelmiştir. Bu sebeple ulaşım sistemleri yönetimi, toplu taşımacılık planlaması, planlamaların sürekli revize halinde olması ve kontrolü, kalabalık kentlerdeki günlük hayat akışında en önemli ihtiyaçlardan biridir. Bu çalışma, karayolu toplu taşımada kilit nokta olan otobüs verilerine dayanmaktadır. Çalışmanın amacı, İstanbul'da belirli bir hatta yapılan seferlerin yolculuk süre verilerinin analizi, duraklar arası sürenin ve durağa varış saati verilerinin analiz edilmesi ve gelecek günlere yönelik tahmin yapılmasıdır. Çalışma sırasında analiz edilen 522B hattı gidiş yönü verilerin tamamı gerçek verilerdir. Bu güzergaha ait veri seti 2021 yılının Temmuz ve Ağustos ayları bazında incelenmiştir. Makine öğrenmesi algoritmalarından Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Destek Vektör Regresyon (DVR) yöntemlerinin, çeşitli trafik koşulları altında tahminler gerçekleştirirken oldukça rekabetçi olduğu ortaya çıkmaktadır. Karşılaştırmalı çalışmalar, YSA'nın daha doğru tahmin sonuçları sağladığını ve bir duraktan diğer durağa geçme süresi dağılımındaki belirsizlikleri daha etkin bir şekilde tahmin etme eğiliminde olduğunu göstermektedir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 May 2022
Received in revised form 29 July 2022
Accepted 01 August 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

prediction, arrival time, public transport, data management, ANN, SVR

Doi: 10.24012/dumf.1120379

* Sorumlu Yazar

ABSTRACT

Public transport systems are of great importance in developing countries and regions with high population density. In cities with high populations, it is observed that active urban transportation processes and the needs for this are increasingly intensified. The excess number of vehicles and heavy traffic arising from this need have become an important part of our daily life, covering a considerable time period. So much so that the moments when transportation comes to a standstill have become a routine in our lives. For this reason, transportation systems management, public transportation planning, constantly revising and controlling the plans are one of the most important needs in the flow of daily life in crowded cities. This study is based on bus data, which is the key point in road public transport. Studies on the prediction of stop arrival and journey times for future strategic planning in transportation management for vehicles are very important. The aim of the study is to analyze the travel time data of the trips made on a certain line in Istanbul, to analyze the time between stops and arrival time data and to make predictions for the future days. All of the 522B line going direction data analyzed during the study are real data. The data set for this route was examined on the basis of July and August 2021. Results from examines indicate that that Artificial Neural Networks (ANN) and Support Vector Regression (SVR) methods from machine learning algorithms are quite competitive when performing predictions under various traffic conditions. Comparative studies show that ANN provides more accurate estimation results and tends to predict uncertainties in the distribution of transition time from one stop to another more effectively.

Giriş

Nüfusun yoğun olduğu büyükşehirlerde doğru otobüs varış bilgilerinin sağlanması, yolcuların otobüs duraklarında bekleme sürelerini azaltmak için hayati önem taşımaktadır. Öğrencilerin hafta içi okul yolculuğu, vatandaşların iş yerlerine ulaşım yolculuğu, tatil başlangıç ve bitiş dönemlerinde oluşan yolculuk yoğunluğu, bozuk yol problemleri, kaza vb. faktörler ve mevsimsel şartların her biri bu ulaşım akışında çeşitli tıkanıklıklara ve olumsuz durumlara sebebiyet vermektedir. Bu rutindeki olumsuzlukların yanı sıra, sürekli artan nüfusun yolculuk taleplerinin ve istedikleri ulaşım hizmetlerinin de arttığı ve yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Fakat tüm bu faktörler günlük yaşantımızın bir parçası olmakla birlikte, zaruri olarak yaşanmaktadır. Tüm bu hayat akışı sebebiyle oluşan trafik kaçınılmazdır. Fakat özel araçlarla ulaşım dışında toplu taşıma sistemlerindeki stratejik planlamalar ve sefer kontrolleri daha planlı ve halkı mağdur etmeyecek bir yolculuk süreci sağlamaktadır. Bu sebeple kent içi toplu taşıma kuruluşlarının varlığı, bu kuruluşlarda yapılan sefer planlama ve yönetim stratejileri büyük bir önem arz etmektedir.

Bir ülkenin büyükşehirlerindeki şehir içi ulaşım sistemlerinin düzensiz ve plansız olması o şehre maliyet, zaman yönetimi ve mutsuz bir halk olarak olumsuz bir şekilde yansımaktadır. Böyle bir durumda yaşanan ulaşım tıkanıklıkları ve zaman kaybı, sıvı yakıtların gereksiz kullanımına sebebiyet vererek çevre kirliliğine de yol açmaktadır [1].

Türkiye’de tüm kentlerde toplu taşımacılık mevcut yerel yönetimlerin sorumluluğu olarak görülmektedir. Bu yüzden her şehirde belediyeler kentte ulaşım hizmeti vermek için, metro, otobüs, tramvay ve tren gibi vasıtaların güzergâh ve seferlerini organize eden, ulaşım akışını sağlayan çeşitli kuruluşları oluşturmuşlardır [2]. Bu kuruluşlardan biri de İstanbul Büyükşehir Belediyesine bağlı olan, İstanbul’da kent içi ulaşımın nabzını tutan İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri, herkesçe bilinen adıyla İETT’dir. Bu çalışmada İETT kuruluşundan sağlanmış tek bir hat ve güzergaha ait 2 aylık sefer verileriyle analiz ve tahmin yapılmıştır. Toplu taşımada en sık kullanılan araçlardan biri olan otobüsle yapılan seferler incelenmiştir.

Otobüs yolculukları, çok sayıda seferle, kent içinde fazla sayıda güzergahla, güzergaha bağlı olarak belirlenmiş durak sayılarıyla kilit bir konumdadır. Seferlerin toplam yolculuk süresi dışında vatandaşı en fazla ilgilendiren husus ise, duraklar arası mesafede geçirilen süredir. İnsanlar toplu taşımayı kullanmak için buldukları lokasyona aracın geliş süresini bilerek yolculuk planı yapmak istemektedirler. Metro, tren, tramvay gibi araçların geliş süresi dakika cinsinden net bir şekilde gösterilmektedir. Fakat otobüslerin geliş süreleri kesin bir sonuç verememektedir. Çünkü yolun durumu, trafik yoğunluğu, aracın sefere planlanan vakitte başlayıp başlamadığı, araçtan doğru veri gelip gelmediği, hava şartları gibi birçok faktör anlık olarak çeşitli ulaşım uygulamalarında belirtilen süreler yansımayabilmektedir. Bu sebeple insanlar yolculuk esnasında mağdur olabilmektedir.

Makine öğrenimi yöntemlerinden Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Destek Vektör Regresyonu (DVR) otobüs varış ve geçiş işleminin doğrusal olmayan bozucu faktörlerini simüle etmek için kullanılır.

Otobüs varış süresi tahminiyle ilgili geniş bir araştırma grubu makine öğrenimi modelleri, Yapay Sinir Ağları [3]-[7], Rastgele Ormanlar [8], Destek Vektör Makinesi (DVM) [9]-[11]; regresyona dayalı yöntemler [12]- [13] ve hibrit modeller [14]-[15] olarak kategorize edilebilir.

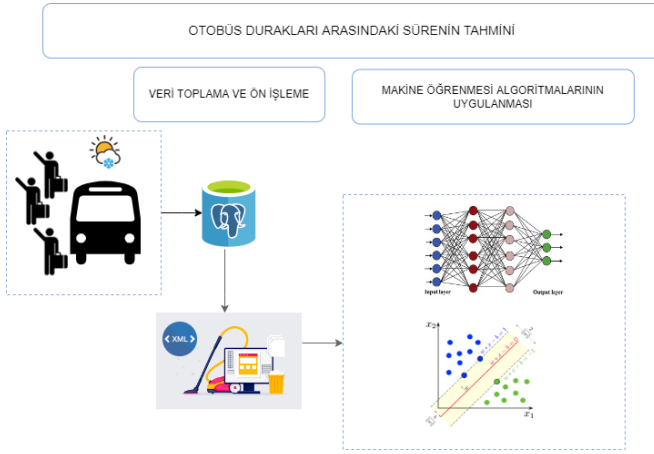
Pang ve diğerleri [16] tahmin doğruluğunu geliştirmek için uzun bir kısa süreli bellek bloğu ile önerilen tekrarlayan sinir ağını kullanarak farklı konumlarda otobüs varış zamanının uzun vadeli bağımlılıklarını yakalayan bir model önermektedir. Lin ve diğerleri [17] hiyerarşik sinir ağını kullanarak otobüs varış zamanını tahmin eden bir tahmin modeli önermiştir. Jeong ve diğerleri [18] otobüs varış zamanı tahmininde doğrusal regresyon modeli, parametrik olmayan regresyon modeli ve YSA modelinin performanslarını karşılaştırmıştır. YSA'nın tahmin doğruluğundaki üstünlüğü, gerçek dünyadaki veri yolu işletim verileriyle doğrulamaktadır. Yu ve diğerleri [19] otobüs varış zamanını tahmin etmek için DVR uygulamış ve uygulanabilirliğini kanıtlamıştır. DVR'nin diğer uygun modellerle geliştirildiği uygulama ile kanıtlanmış, belirli koşullar altında daha doğru tahminler elde edilebilmiştir [20]. Benzer şekilde, DVR'ye dayalı bazı yeni yöntemler önerilmiş ve kanıtlanmıştır [21]-[22].

Bu çalışmada amaç geçmişe dayalı gerçek verilerle, binen yolcu, durma süresi, bir duraktan diğer durağa varış süresi ve hava şartları gibi durumların da dahil olduğu bir zaman dilimiyle makine öğrenmesi algoritmalarına dayalı tutarlı bir tahmin çalışması yapmaktır. Bu çalışmanın diğer çalışmalarından farkı durma süresinin ve meteoroloji değerlerinin diğer çalışmalarda bulunmamasıdır. Bu tahmin çalışması doğrultusunda araçların duraklara ulaştığı sürenin en doğru şekilde sunulması için model gelişimi hedeflenmektedir. Veri kümesi analiz edilerek Python programlama diliyle algoritma geliştirilmiştir. Çalışmada makine öğrenmesi tahmin algoritmalarından Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Regresyon yöntemleri kullanılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünü giriş kısmı oluşturmaktadır. İkinci bölümü ise veri setini tanıma, veri ön işleme, çalışmada kullanılan algoritmaların tanıtımı yer almaktadır. Üçüncü bölümde ise geliştirilen algoritmanın tahmin sonucunun değerlendirmesi ve sonuç kısımları yer almaktadır.

Yöntem

Bu çalışmada otobüs hattına ait; yolcu, durma süresi, duraklar arasındaki süre, hava durumu verileri elde edilmiş, ön işlemeden geçmiş ve daha sonra YSA ve DVR algoritmalarıyla duraklar arası tahmin yapılmıştır. Bu algoritmaların model performansını test etmek için Python yazılımı kullanılmıştır. Şekil 1’de çalışmanın kurgusu gösterilmektedir.



Şekil 1. Otobüs durakları arasındaki süre tahmini için çalışma kurgusu.

Bu çalışmada yapay sinir ağının çok katmanlı ileri beslemeli (multi layer feed forward) yapay sinir ağı mimarisi ve ağı öğrenme algoritması için de Geri Yayılım (Backpropagation) algoritması kullanılmıştır. 8 sürekli sayılardan oluşan girdi, yine sürekli sayılardan oluşan çıktı verisi ve gizli katmanlardan oluşan çok katmanlı algılayıcı olarak tanımlanmıştır. Binen Yolcu, DurmaSuresi, Durak, Sıcaklık, Dew_Point, NemOrani, RuzgarHizi, Basinc 8 girdi setini oluşturmaktadır. Çıktı seti ise varisSuresi verilerinden oluşmaktadır. Gizli katmandaki nöronların sayısı 8 ila 15 arasında olabilmektedir. Çıkış katmanında optimal sayıda nöron bulmak için deneme-yanılma yöntemini gizli katmandaki çeşitli sayılarla (100 ila 150 arasında değişen) nöronlar kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak çıktı katmanı için mean_squared_error ve gizli katmanlar için selu fonksiyonu kullanılmıştır. Maksimum yineleme sayısı deneme yapılarak 5000 olarak belirlenmiştir. Diğer tüm parametreler Python yazılımında varsayılan değerler olarak atanmıştır. Tablo 1'de YSA algoritmasına ait parametreler gösterilmektedir.

Tablo 1. YSA Parametreleri.

YSA Parametreleri	Değer
Gizli Katman	100-150
Çekirdek fonksiyon	Selu
Yineleme Sayısı (epoch)	5000

Veriseti

Bu çalışmada kullanılan veriler, Mecidiyeköy-Yenidoğan bölgesine hizmet veren bir şehir içi güzergâh olan 552B No'lu otobüs güzergâhından toplanan otobüs gidiş verileri ve 30 Temmuz 2021-30 Ağustos 2021 tarihleri arasında 12.000'e yakın veriden ve 600'e yakın otobüs yolculuğundan oluşmaktadır.

Çalışılan veriler 2 aylık bir döneme ait olup, tek bir hat ve güzergâha aittir. Hat kodu isimli kolonda hattın ismi olan '522B' verisi görülmektedir. Güzergâh verisi ise hat kodunu ve gidiş dönüş bilgisini vermektedir. Çalışmada kullanılan veri yalnızca gidiş güzergâhı verisidir.

Güzergâh kolonunda görülen '522B_G_D0' bilgisindeki 'G' harfi gidiş yönü olduğu bilgisini vermektedir. Gidiş ve dönüş güzergâhlarındaki durak sayıları farklı olduğu için, tahminde devamlılık sağlamak adına tek bir güzergâh seçilmiştir.

Kapı No isimli veri, araçların üzerinde yazan tekil bir değeri göstermektedir. Her aracın kapı numarası farklıdır.

Kayıt günü verisi, seferin kaydının düzenlendiği tarihi vermektedir. Görev id verisi ise, her bir seferin kodunu ayrı bir şekilde vermektedir. Bir seferde, tek yönde 37 adet durak bulunmaktadır. 1. duraktan başlayıp 37. durağa gelerek yolculuğu bitirmek tek bir seferi belirtmektedir. Sıra kolonu 1'den 37'ye kadar olan durak sıralarını vermektedir. Durak kodu ise her durağa özel id bilgisini vermektedir. Durak kodları ve sıraları değişmemektedir.

Durma süresi verisi, durağa gelip durulduğunda beklenen süreyi saniye cinsinden yansıtmaktadır. Binen yolcu bilgisi ise her durakta binen yolcu sayısını ifade etmektedir. Geçiş zamanı verisi aracın ilgili duraktan geçtiği tarih ve saati vermektedir. Bazı seferler gece yarısından sonraya uzayabilir. Bu sebeple kayıt günü ile geçiş zamanındaki tarih bilgisi her zaman aynı olmayabilir. Etldate ise sisteme veri aktarımının yapıldığı tarihi belirtmektedir.

Verisetinin hazırlanması

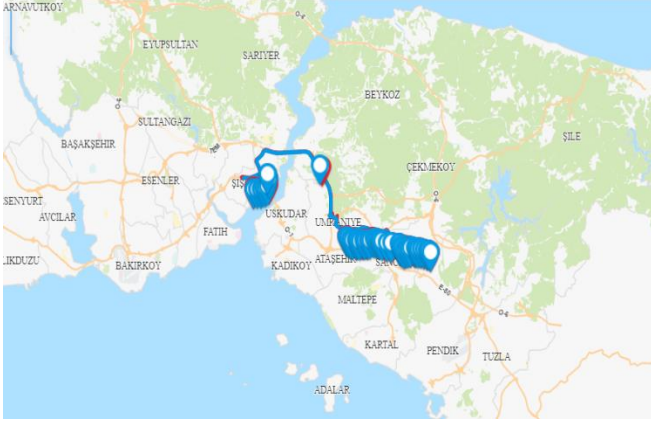
Geçiş zamanı verilerinden faydalanarak duraklar arası süreyi hesaplamak için yeni bir kolon ekleme ihtiyacı doğmuştur. Bunu yapmak için duraktan durağa her bir geçiş zamanı yeni bir kolonla yan yana getirilmiştir. Her bir geçiş değerinden bir önceki zaman saniye bazında çıkarılarak 'Sonraki Fark' isimli yeni bir kolona yazılmıştır. Bu kolon türetilirken Sql dilinde lead, lag ve datediff fonksiyonları kullanılmıştır. Veride geline son durumda, sıra 1 de görünen sonraki fark değeri 2. durağa giderken geçen sürenin saniye bazında gösterimi olarak açıklanabilmektedir. Son durağa gelindiğinde 'null' değer geldiği için bu çalışmada sonuncu sıralardaki 'null' değerler çıkarılmıştır. Bir seferin tamamlanma süresi için yeni bir kolon daha oluşturulmuştur. 2. durağa giderken, 1. ve 2. durak süreleri toplanarak aynı işlemler diğer 37 durak için de kümülatif bir şekilde toplanarak gidilmiştir. Her bir sefer için kümülatif toplam tekrar edilmiştir. Bu sayede bir seferin tamamlanma süresi bulunmuştur. Bu işlemler sonunda veri setinin 9 nitelikten oluştuğu görülmektedir. Kalan veri seti analiz edildiğinde, durak sıralarındaki eksiklik saptanmıştır. Belli seferlerde art arda 3-4 adet duraktan veya 1. ve 37. duraklarda araçtan veri gelmediği anlaşılmıştır. Bu eksiklikler bölgedeki bağlantıdan, araç cihazlarının bozulmasından veya sinyal bozukluğundan kaynaklanabilmektedir. Veri setinin ön işleme aşamasının son etabında, eksik verisi olan seferler temizlenmiştir. Tüm verilerin eksiksiz bir şekilde geldiği görevlerin verileriyle çalışmaya devam edilmiştir. Veriler normalize edilmiştir.

Tahmin için kullanılan nitelikler Tablo 1'de gösterilmektedir. Hava durumuna ait veriler ise Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır.

Tablo 2. Tahmin için kullanılan nitelikler.

Nitelik Adı	Veri Tipi	Açıklama
DurmaSuresi	Nümerik	Otobüsün duraklardaki durma süresi
Durak	Nümerik	1'den 37'ye kadar olan durak sayısı
Temperature	Nümerik	Hava Sıcaklığı
Dew_Point	Nümerik	Çiğ Noktası
Humidity	Nümerik	Nem Oranı

Wind_Speed	Numerik	Rüzgâr Hızı
Pressure	Numerik	Basınç
Cumulative	Numerik	1 duraktan diğer durağa kümülatif varma süresi



Şekil 2. 522B hattına ait rota çizimi.

522B hattına ait 37 duraktan oluşan rota güzergahı, Şekil 2’de gösterilmektedir.

Sınıflandırma Algoritmaları ve Model Değerlendirme

Bu bölümde sınıflandırma algoritmalarından Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Regresyonu anlatılmaktadır.

Yapay Sinir Ağları

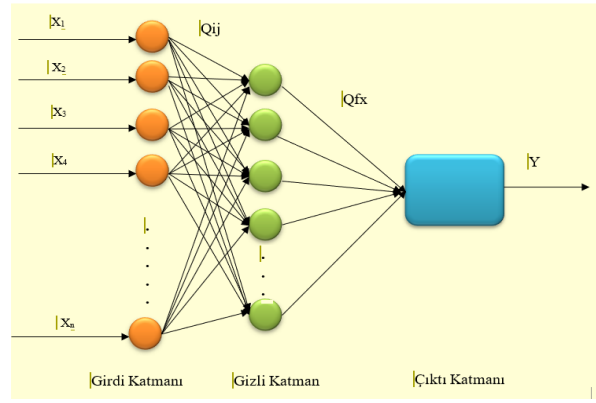
Yapay Sinir Ağları (YSA) biyolojik sinir hücreleri olan nöronların karmaşık yapısını ve çalışma şeklini taklit ederek karmaşık biyolojik olayları öngörmede kullanılan bir sınıflandırma yöntemidir [23]. YSA nöronların öğrenebilen yapay nöron adı verilen bağlı birimler veya düğümlere dayanmaktadır [24]. YSA’da birbirlerine bağlı nöronlar, ağırlıkların belirlenmesi ve aktivasyon fonksiyonu bulunmaktadır. Şekil 3.’te bir nöronun çalışma prensibi sunulmaktadır [25].

Ağın eğitimi için n giriş sayısı olmak üzere nörona verilen girdiler $X(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ her bir nöronda bulunan W ağırlıklar matrisi $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$ ile çarpılır. Tek tek tüm girdilere bu işlem uygulanır. Elde edilen çarpımlar ve bias nöronunun ağırlık değeri toplama fonksiyonuna tabi tutularak bir toplam oluşturulur. Toplam değer bir aktivasyon fonksiyonuna tabi tutularak çıktı katmanına iletilir [26]. İfadeler eşitlik olarak yazılırsa;

$$net_j = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b_j \text{ ve } o_j = f(net_j) \quad (1)$$

$$o_j = f(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b_j) \quad (2)$$

olarak yazılabilmektedir. Burada $f(\cdot)$ aktivasyon fonksiyonudur. Basit bir sinir modeli, n adet girişi, belirli ağırlıklarla çarpılarak toplamakta, bir eşik değeri de işleme katılıp sonucu aktivasyon fonksiyonundan geçirmektedir. Sinir modeli, sinirin eşik değerine ve kullanılan aktivasyon fonksiyona bağlı olmaktadır.



Şekil 3. Yapay sinir ağları katmanları.

YSA'nın giriş katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere üç katmanlı klasik ağ mimarisini oluşturmaktadır. Giriş katmanı, tahmin değişkenlerinin değerlerini alır ve çıkış katmanı, öngörülen sonucu sağlar. Gizli ve çıkış katmanlarındaki her bir nöron, nörona giren tüm girdilerin ağırlıklı toplamını alır. Ardından, çıktı sonucunu hesaplamak için aktivasyon fonksiyonu uygulanır. Bu işlem aşağıdaki formülle gösterilebilir:

$$y(x) = f\left(\sum_{i=1}^N w_i x_i\right) \quad (3)$$

x_i giriş değeri, w_i ilgili ağırlık, N giriş sayısı ve f aktivasyon işlevidir.

Destek Vektör Regresyonu

Vapnik ve Cortes' in veri sınıflandırmak için geliştirdiği destek vektör ağları, destek vektör makineleri olarak bilinmektedir. Regresyon modelleri için Destek Vektör Regresyonu olarak da anılmaktadır. Destek Vektör Regresyonu ile Yapay Sinir Ağları kıyaslandığında, ampirik risk minimizasyonunun yanında yapısal riski de minimize etmeyi de hedeflemektedir. Destek Vektör Regresyonu esasen doğrusal olmayan (non-linear) regresyon için geliştirilmiştir [27]. Destek Vektör Regresyonu marjinal verilere karşı duyarlıdır. Bu sebeple daha iyi bir tahmin sonucu için veriler üzerinde standartlaştırma yapılmalıdır.

1998 yılında Smola istatistiksel boyut teorisi ve yapısal risk minimizasyon kriterine dayanan bir makine öğrenme yöntemi olan Destek Vektör Regresyonu adı verilen bir regresyon yöntemi önermiştir [28]. Küçük örneklem büyüklüğü, yüksek boyutluluk, güçlü doğrusal olmama gibi pratik sorunları çözebilmekte ve güçlü bir genelleme kabiliyetine sahiptir [29]. DVR sağladığı yüksek performans sayesinde önerildikten hemen sonra büyük ilgi görmüştür. Bazı geleneksel regresyon algoritmaları ile karşılaştırıldığında, DVR aşağıdaki avantajlara sahiptir [30].

1) Spesifik olarak sınırlı örneklem problemi için, sadece örnek sonsuza doğru gittiğinde değil, mevcut örnek bilgisi altında optimal çözüm elde edilir.

2) DVR teorisi titizdir ve dışbükey ikinci dereceden programlama optimizasyon teorisi, sinir ağı modeli [31] gibi yerel minimum problemin üstesinden gelen global optimal çözümü elde etmek için kullanılır.

3) Doğrusal olmayan problemler için, destek vektörü regresyonu, düşük boyutlu uzaydaki doğrusal olmayan problemleri istatistiksel öğrenme ve katı optimizasyon teorilerine dayalı olarak yüksek boyutlu Hilbert uzayına eşlemek için çekirdek fonksiyon teknolojisini kullanır ve eğitim hızı yalnızca sayı ile ilgilidir. “Aşırı öğrenme” problemlerinin üstesinden gelmekte ve iyi bir genelleme elde etmek için eğitim için yalnızca az sayıda örnek kullanabilmektedir [32].

Model Değerlendirme Kriteri

Sınıflandırma algoritmalarının sonuçlarını doğrulamak ve değerlendirmek için bu çalışmada Ortalama karesel hata (RMSE), Ortalama Kare Hatası (Mean Square Error-MSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) ve belirleme katsayısı (R²) kullanılmıştır [33]. Denklemler aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y(i) - \hat{y}(i))^2 \quad (4)$$

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

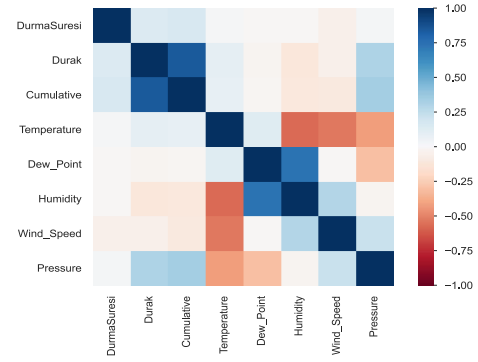
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y(i) - \hat{y}(i))^2} \quad (6)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (\hat{y}(i) - y(i))^2}{\sum_i (y_{mean}(i) - y(i))^2} \quad (7)$$

burada $y(i)$ gerçek değerdir, $\hat{y}(i)$ $y(i)$ 'nin tahmin edilen değeridir, $y_{mean}(i)$ $y(i)$ 'nin ortalama değeridir ve N örnek sayısıdır. MAE, mutlak hataların ortalamasını hesaplayarak duraklar arası tahmin hatalarını gösterir; RMSE, büyük sapmalarla örnekleme noktalarının katkılarını yükselterek bir tahmin modelinin kararlılığını gösterir; ve R², durak varış süresinin değerlerinin ölçülen değerlere uygunluğunu gösterir. MAE ve RMSE'nin daha küçük değerlere sahip olması göstergelerin daha güçlü olduğunu göstermektedir.. R² aralığı [0, 1]'dir ve değeri 1'e ne kadar yakınsa, model ölçülen değerlere o kadar iyi uymaktadır.

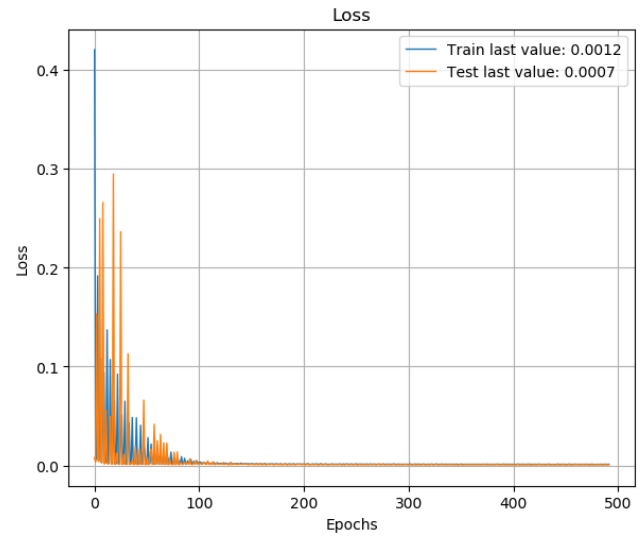
Analiz Sonuçları

Çalışmanın bu bölümünde Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Regresyon sınıflandırma algoritmalarının otobüs sefer verileri üzerinde model önerisinde bulunmuş ve analiz sonuçları ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. YSA ve DVR algoritmaları sınıflandırma modellerinde sıklıkla tercih edilmektedir.



Şekil 4. Veriler arasında korelasyon.

Şekil 4'te Pearson's korelasyon katsayıları görülmektedir. Korelasyon analizinin amacı, veri setindeki bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve şiddetini göstermektir [34]. Durak değişkeni ile varma süresi değişkeni arasında yüksek ve pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Durak sayısı ilerlerken varma süresinin de pozitif yönde arttığı gözlemlenmektedir. Durak değişkeni ile Basınç orta düzeyde ve çığ noktası arasında ise çok zayıf pozitif yönde ilişki gözlemlenmektedir. Durma süresi ile durak ve varma süresi arasında zayıf düzeyde pozitif yönde bir ilişki olduğu görülürken diğer değişkenler arasında çok zayıf ama pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Çığ noktası ve nem oranı arasında yüksek ve pozitif yönde, sıcaklık ve nem oranı arasında yüksek düzeyde negatif yönde ilişki görülmektedir.



Şekil 5. YSA Tahmin Performansı

Tablo 3. YSA ve DVR Algoritmalarının RMSE, MSE, MAE ve R² Performans Değerleri

Model	RMSE	MSE	MAE	R ²
YSA	0.0223	0.00049	0.01396	0.853
DVR_rbf	0.06142	0.00377	0.0557	0.767
DVR_linear	0.042408	0.00179	0.0320	0.784
DVR_polynomial	0.050734	0.00257	0.0423	0.755

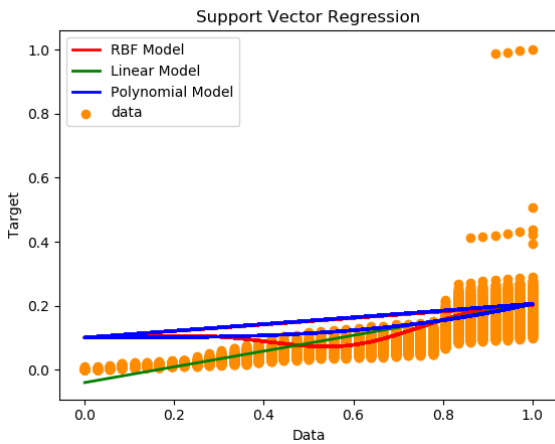
Bu çalışma, YSA ve DVR tabanlı modellerin performanslarını RMSE, MSE ve MAE ve R^2 açılarından sunmaktadır. YSA modelin performansı hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5'te gösterilmiştir. YSA performans değerlerine göre RMSE (0.0223), MSE (0.00049), MAE (0.01396)) skorları elde edilmiştir. Düşük skorlar değerlendirme için daha iyi olmaktadır. Bunun yanında R^2 (0.853) skoru elde edilmiştir, 1'e yakın olması modelin başarılı olduğunu göstermektedir.

Önerilen tahmin modeli duraklar arası geçişi tahmin etmektedir. Şekil 5 gözlemlenen değerleri ve tahmin değerlerini göstermektedir.

Gözlem verileri mavi çizgi ile gösterilmekte ve tahmin değerleri turuncu çizgi ile gösterilmektedir ve dolu alan tahmin ve gözlem arasındaki farkı gösterir. Modelleme performansları, mavi ve turuncu çizgiler arasındaki alan tarafından hesaplanır. Daha iyi performanslar alt alandır. Tablo 3'teki sonuçlara göre, YSA modeli, duraklar arası süre tahmini için bariz bir avantaja sahiptir. YSA ile analiz edilen verilerin RMSE, MSE ve MAE ve R^2 değerleri sırasıyla 0.0223, 0.00049, 0.01396 ve 0.853'tür.

Veriseti DVR sınıfından kernel çekirdeği (rbf), doğrusal (linear), polinomial (poly) için türetilen nesnelere kullanılarak tahmin modelleri oluşturulmuştur. Şekil 6'da her bir çekirdeğe ait tahmin sonuçları görülmektedir.

Bu sonuçlara göre duraklar arası geçiş sürelerini tahmin etmede YSA algoritmasının çok başarılı olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 6. DVR çekirdekleri Tahmin Performansı

DVR modelinin performans değerleri Tablo 4'te gösterilmektedir. DVR performans değerlerine göre RMSE_rbf (0.06142), MSE_rbf (0.00377) ve MAE_rbf (0.0557), RMSE_lienar (0.042408), MSE_linear (0.00179) ve MAE_linear (0.0320) ve RMSE_polynomial (0.050734), MSE_polynomial (0.00257) ve MAE_polynomial (0.0423) skorları elde edilmiştir.

Şekil 6 üç modelin sonuçlarını göstermektedir. Veriler turuncu noktalarla, polinomial model mavi çizgi ile, linear model yeşil çizgi ile ve rbf model kırmızı çizgi ile gösterilmektedir.

Bu sonuçlara göre duraklar arası geçiş sürelerini tahmin etmede DVR algoritmasının başarılı olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 2'deki sonuçlara göre linear çekirdeği rbf ve polinomial çekirdeklerinden daha üstün performans göstermektedir. Performans hata oranı 0.00179 olarak oldukça düşüktür. Çok iyi performans sergilediği sonuçlarla kanıtlanmaktadır.

Tablo 2'den elde edilen sonuçlara göre en iyi sonucu veren algoritma YSA algoritması olduğu görülmektedir. Ardından DVR_linear gelmektedir. Her iki algoritma oldukça yüksek başarı performansı göstermektedir. Otobüs seferlerinde duraklar arasındaki süreyi hesaplamak için YSA ve DVR algoritmaları oldukça başarılı performans göstermektedir.

Sonuç ve Değerlendirme

Araçlara dair ulaşım yönetiminde yapılan, geleceğe yönelik stratejik planlamalar için durak varış ve yolculuk sürelerinin tahmin edilmesine yönelik çalışmalar oldukça önemlidir.

Nüfus yoğunluğunun git gide yoğunlaştığı, iş ve okul gereksinimlerinin fazlalaştığı ve dolayısıyla günlük hayattaki yolculuk akışı sebebiyle artan yolculuk hizmeti taleplerinin karşılanması büyükşehirlerdeki en büyük problemlerden biri olmaktadır. Bu süreçte yaşanan problemlerin ve tıkanıklıkların çözüme kavuşturulmaması, günlük hayatı durma noktasına getirerek ve ulaşım hizmeti talep eden halkı mutsuz ederek daha büyük olumsuzluklara neden olmaktadır. Trafik problemi ve düzgün ulaşım planlamalarını yapılmayıp, yolda geçen gereksiz bekleme süresi sebebiyle fazladan akaryakıt kullanımına neden olarak maliyet hususunda ve çevre kirliliği anlamında çok daha büyük problemlere neden olabilmektedir. Bu sebeple şehirlerdeki ulaşım hizmetleri titizlikle planlanmalı, daha kapsamlı çalışmalar ve iyileştirmeler yapılmalıdır. Ulaşım planlama stratejilerinde teknolojinin yetkin kullanımı oldukça önemlidir. Ulaşım planlamalarında kullanılan yöntemler, günümüz teknolojisinin metotlarından oldukça uzak konumdadır. Bu alanda yapay zekâ ve makine öğrenmesi çalışmaları yapılarak iyileştirmeler yapılmalıdır. Trafik akışına direkt veya dolaylı olarak etki eden unsurlar üzerinde titizlikle çalışılmalıdır. Araç sayıları, yol durumu, hava durumu, mevsimler koşulları ve kaza durumları üzerinde çalışılmalıdır. Her alanda makine öğrenmesi algoritmalarına dayalı tahminleme çalışmaları yapılmalıdır.

522B numaralı otobüs güzergahının otobüs geçiş tarihine göre ampirik bir çalışma yapılmıştır. YSA ve DVR yöntemlerinin, çeşitli trafik koşulları altında tahminler gerçekleştirirken oldukça rekabetçi olduğu ortaya çıkmıştır. Karşılaştırmalı çalışmalar, YSA'nın daha doğru tahmin sonuçları sağladığını ve bir duraktan diğer durağa geçme süresi dağılımındaki belirsizlikleri daha etkin bir şekilde tahmin etme eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada duraklar arasındaki süre hesaplatılarak bu süre üzerinden farklı modellerle eğitim yapılmıştır. Modeller arası kıyaslama yapılarak, her modelde grafiğin seyrinin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Tüm modellerde hata değeri 0'a çok yakındır ve çok başarılı sonuçlar vermiştir. Gelecekteki çalışmalar için süre kapsamında akışın daha farklı seyrettiği güzergahlarla yeniden çalışmalar yapılmalı, kaza, yol durumu da çalışmaya dahil edilerek sistemlerin birbiriyle

entegre çalışması ile daha iyi sonuçlar elde edilerek çıktıları yolculuk planlama stratejilerinde kullanılmalıdır.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

“Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur”

“Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır”

Yazar Katkıları

Tüm araştırma ve yazma adımları ilgili yazara aittir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılmak üzere veri paylaşımı sağlayan İstanbul Büyükşehir Belediyesine desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Kaynakça

- [1] G. Temelcan, G. Sistem optimal bulanık trafik atama probleminin optimizasyonu, 2020.
- [2] B. T. Palamutçuoğlu, Şehir içi toplu taşıma planlamasında akıllı kart veri madenciliği ile sefer sıklığı optimizasyonu, 2020.
- [3] I.J. Chien, Y. Ding, Wei, C. “Dynamic bus arrival time prediction with artificial neural networks”, *J. Transp. Eng.*, 128 (5), 429–438, 2002.
- [4] R. Jeong, R. Rilett, “Bus arrival time prediction using artificial neural network model”. *In Proceedings. The 7th international IEEE conference on intelligent transportation systems (IEEE Cat. No. 04TH8749)* (pp. 988-993). IEEE, 2004.
- [5] H. Liu, K. Zhang, R., He, J., Li, “A neural network model for travel time prediction”, *in: Proc IEEE Conf Intell Comput Intell Syst (ICIS)*, Vol. 1, pp. 752–756, 2009.
- [6] M. Chen, X., Liu, J. Xia, S.I. Chien, A dynamic bus-arrival time prediction model based on APC data, *Comput.-Aided Civ. Inf.*, 19 (5), 364–376, 2004.
- [7] Y. Lin, X. Yang, N. Zou & L. Jia. “Real-time bus arrival time prediction: case study for Jinan, China”. *Journal of Transportation Engineering*, 139(11), 1133-1140, 2013.
- [8] B. Yu, H. Wang, W. Shan, B. Yao., Prediction of bus travel time using random forests based on near neighbors, *Comput.-Aided Civ. Inf.*, 33 (4) (2018) 333–350, 2018.
- [9] B. Yu, Z. Yang, J. Lin. “Bus arrival time prediction using support vector machines”, *J. Intell. Transp. S* 10 (4), 151–158, 2006.
- [10] D. S. Huang. *The Study of Data Mining Methods for Gene Expression Profiles*, 2009.
- [11] C. Bai, Z. Peng, Q. Lu, J. Sun. “Dynamic bus travel time prediction models on road with multiple bus routes”, *Comput. Intell. Neurosci.* (432389), 2015.
- [12] J. Patnaik, S. Chien, Bladikas, A. “Estimation of bus arrival times using APC data”, *J. Public Transp*, 7 (1), 1–20, 2004.
- [13] Y. Zhou, L. Yao, Y. Chen, Y. Gong, J. Lai. “Bus arrival time calculation model based on smart card data”, *J. Comput.* 74 (8), 1634–1638, 2017.
- [14] B Yu, Z. Z., Yang, K. Chen, , B. Yu,” Hybrid model for prediction of bus arrival times at next station”, *J. Adv. Transp.* 44 (3), 193–204, 2010.
- [15] S Zhong, J. Hu, S. Ke, X. Wang , J. Zhao, B. Yao, (2015). “A hybrid model based on support vector machine for bus travel-time prediction”, *Promet - Traffic – Traffico*, 27 (4), 291–300, 2015.
- [16] J. Pang, J. Huang, Y. Du, H. Yu, Q. Huang, & B. Yin, .”Learning to predict bus arrival time from heterogeneous measurements via recurrent neural network”. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(9), 3283-3293, 2018.
- [17] Y. Lin, X. Yang, N. Zou, N. ve L. Jia. “Real-time bus arrival time prediction: Case study for Jinan, China,” *J. Transp. Eng.*, 139 (11), 1133–1140, 2013.
- [18] R. Jeong, L.R. Rilett, L.R. “Bus arrival time prediction using artificial neural network model”, *in: Proc IEEE 7th Conf Intell Transp Syst (ITSC)*, pp. 988–993, 2004.
- [19] H Yu, D. Chen, Z. Wu, X. Ma, & Y. Wang, “Headway-based bus bunching prediction using transit smart card data”. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 72, 45-59, 2016.
- [20] J. Chai, C. Wu, C. Zhao, H. L. Chi, X. Wang, B. W. K. Ling, & K. L. Teo, “Reference tag supported RFID tracking using robust support vector regression and Kalman filter”. *Advanced Engineering Informatics*, 32, 1-10, 2017.
- [21] B. Yu., W.H.K. Lam, L.T. Mei. “Bus arrival time prediction at bus stop with multiple routes”, *Transp. Res. C* 19 (6), 1157–1170, 2011.
- [22] X. Liu, J. Jin, W. Wu, & F. Herz. “A novel support vector machine ensemble model for estimation of free lime content in cement clinkers”. *ISA transactions*, 99, 479-487, 2020.
- [23] D. J. Sargent, “Comparison of artificial neural networks with other statistical approaches-results from medical data sets”, *Cancer*, 91(8), 1636-1642, 2001.
- [24] A. Abraham, (2004). “Meta-Learning Evolutionary Artificial Neural Networks”, *Neurocomputing Journal*, 56, 36-37.
- [25] Z. A. Vassilis, M. P. Dimitris ve G. A Vassilis, V. A. Athanasios. “Solar radiation estimation methods using ANN and empirical models”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 160, 160–167, 2019.
- [26] C. Fyfe, C. (2000). *Artificial neural networks and information theory*, 2000.
- [27] C. Cortes, V. Vapnik. “Support-vector networks”, *Machine Learning*, 20, 273-97, 1995.
- [28] A. J. Smola, “A tutorial on support vector regression”. *Statistics and Computing*, 1998.

- [29] D.S. Huang & W. B. Zhao. "Determining the centers of radial basis probabilistic neural networks by recursive orthogonal least square algorithms". *Applied Mathematics and Computation*, 162(1), 461-473, 2005.
- [30] Z. Liu, Y. Xu, G. Duan, C. Qiu., & J. Tan. (2021). "Accurate on-line support vector regression incorporated with compensated prior knowledge". *Neural Computing and Applications*, 33(15), 9005-9023, 2021.
- [31] X. Tang., Z. Ma, Q. Hu & W. Tang. "A real-time arrhythmia heartbeats classification algorithm using parallel delta modulations and rotated linear-kernel support vector machines". *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 67(4), 978-986, 2019.
- [32] C. S. Lo, & C. M. Wang, C. M. "Support vector machine for breast MR image classification". *Computers & Mathematics with Applications*, 64(5), 1153-1162.
- [33] C. J. Willmott. "Some comments on the evaluation of model performance". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63(11), 1309-1313, 1982.
- [34] R. Taylor. "Interpretation of the correlation coefficient: a basic review". *Journal of diagnostic medical sonography*, 6(1), 35-39, 1990.



Kişisel Siber Güvenlik Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi

*Evaluation of Personel Cyber Security Approaches*Muhammed Zekeriya GÜNDÜZ^{1*}, Resul DAŞ²¹Bingöl Üniversitesi, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, mzgunduz@bingol.edu.tr

ORCID: 0000-0003-4278-7123

²Fırat Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, rdas@firat.edu.tr

ORCID: 0000-0002-6113-4649

MAKALE BİLGİLERİ

ÖZ

*Makale Geçmişi:*Geliş 29 Mayıs 2022
Revizyon 22 Haziran 2022
Kabul 24 Haziran 2022
Online 30 Eylül 2022*Anahtar Kelimeler:**Siber güvenlik, Son kullanıcı,
Parola güvenliği, Siber güvenlik
farkındalığı, Mahremiyet*

Bir birey hakkındaki herhangi bir veri, kişisel veri olarak kabul edilir. Bu kişisel veriler bireyi benzersiz bir şekilde tanımlayan değerlerdir. İsim, soy isim, kimlik numarası, anne kızlık soyadı ve benzeri şekillerde olabilen bu veriler bireyin kimliğini belirlemek için kullanılmaktadır. Ayrıca, bireyin çevrimiçi paylaştığı resimleri, mesajları, sağlık, eğitim, finans ve istihdam gibi verileri de kişiyi çevrimiçi olarak tanımlamada kullanılabilir. Bu sebeple kişisel düzeydeki verilerin ve bilgi işlem cihazlarının korunması gerekmektedir. Bu bağlamda; siber güvenlik, ilgili ağa bağlı sistemleri ve tüm verileri yetkisiz kullanımdan veya zarardan korumak için gereken çabaların bütünü olarak tanımlanır. Kişisel siber güvenlik ise bu çabaların bir kısmının siber farkındalık ile son kullanıcılar tarafından da gerçekleştirilmesidir. Son kullanıcıların sistem ya da veri güvenliğindeki en önemli görevlerinden birisi güvenli parola oluşturmalarıdır. Bu çalışma çevrimiçi bireysel kimlik verilerinin güvenliğinin sağlanması kapsamında güvenli parola oluşturulması için son kullanıcılara yönelik yeni yaklaşımlar önermektedir.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

*Article history:*Received 29 May 2022
Received in revised form 22 June 2022
Accepted 24 June 2022
Available online 30 September 2022*Keywords:**Cyber security, End user, Password
security, Cyber security awareness,
Privacy*

A data about any person is considered personal data. These personal data are values that uniquely identify an individual. These data, which can be in the form of name, surname, identity number, mother's first surname and similar forms, are used to determine the identity of the individual. In addition, data such as pictures, messages, health, education, finance and employment that the individual shares online can be used to identify the person online. For this reason, it is necessary to protect the data and computing devices at the personal level. In this context; cyber-security is defined as all efforts to protect related networked systems and all data from unauthorized use or damage. Personal cyber-security, on the other hand, is the realization of some of these efforts by end-users with cyber awareness. One of the essential tasks of end-users in the system or data security is to create secure passwords. This study proposes new approaches for end-users to create secure passwords within the scope of ensuring the security of online individual identity data.

Doi: 10.24012/dumf.1122997

* Sorumlu Yazar

Giriş

İlk olarak 1948 yılında Norbert Wiener tarafından kullanılan siber [1] kavramı için farklı tanımlar bulunmaktadır. Bu tanımların hepsini kapsayacak şekilde siber kavramını; sayısal verinin olduğu her yer olarak tanımlamak mümkündür. Siber, sadece internet değildir. Siber kavramı, interneti de içerisinde barındıran daha kapsamlı bir terimdir. Hiç internet bağlantısı olmayan bir elektronik cihaz da siber ortamın bir parçasıdır. Dolayısıyla bu cihaza da atak yapılabilir, verileri çalınabilir ve değiştirilebilir. Ayrıca, internete bağlı ağ sistemleri olduğu gibi, bağlı olmayanlar da olabilir. İnternete bağlı olmadığı halde önemli kararların bilgisayarlar tarafından alındığı demiryolu ağı, metro ağı, otomasyon ağları gibi sistemlerde bulunan cihazlar da siber ortamın içerisinde bulunurlar. Bu sistemler, güvenlik gereksinimleri nedeniyle özellikle internet ağına bağlanmazlar. Ancak nesnelerin interneti kavramı bu sistemlerin de internet ağına bağlanmasının zaruretini ortaya çıkarmaktadır [2].

Günümüzde, siber ortamda bulunan veri, cihaz ve sistemlerin güvenliğinin sağlanması için siber güvenlik yaklaşımlarının sayısal tüm ortamlarda vazgeçilmez bir sistem bileşeni olduğu görülmektedir [3]. Güvenlik ortada kıymetli bir meta bulunduğu gereklidir. Bu meta bir veri, veritabanı, donanım elemanı ya da sistemin tamamı olabilir. Dolayısıyla siber ortamda bulunan verinin güvenliğinin sağlanması bir zorunluluktur. Bu bağlamda, siber güvenlik dendiğinde genelde siber ortamda bulunan verinin güvenliğinin sağlanması anlaşılır. Bir şirketin satış detaylarını içeren verileri, bankanın müşteri bilgileri gibi veriler kıymetlidir. Kıymetli bir metanın olduğu yerde onu gayri meşru şekilde ele geçirmek isteyenler olabilir. İnsanoğlunun bu gayri meşru eylemlerinin olmadığı kabul edilse idi, siber güvenlik kavramının ortaya çıkmasına gerek kalmayacaktı. Böyle bir durum söz konusu olmadığı için siber güvenlik kavramı sayısallaşan dünyada daha fazla önem kazanmaktadır.

Sayısal ortamdaki veriler içeriklerine göre çeşitlilik gösterirler. Tıbbi kayıtlar (reçeteler, elektronik sağlık kayıtları vs.), tüketim bilgileri (mağaza sadakat kartları, alışveriş sitelerindeki kişisel veriler vs.), eğitim kayıtları (notlar, sınav puanları, alınan dersler, ödüller, dereceler, devamlılık, disiplin raporları), sosyal medya hesaplarındaki bilgiler, istihdam ve finansal kayıtlar (gelir-giderler, vergi kayıtları, bankacılık ekstreleri, kredi notu, geçmiş istihdam ve performans), arama motorlarında yapılan arama kayıtları, mobil cihazlarda tarayıcı tarafından kaydedilen kullanıcı adı ve parola verileri bunlardan bazılarıdır [4]. Bu kişisel verilerin özellikle sosyal mühendislik [5] gibi insan zafiyetinin sömürülmesine yönelik olan saldırılara karşı korunması için etkin yöntemler geliştirilmelidir.

Son kullanıcıların kişisel veri güvenliği açısından yerine getirmeleri gereken en önemli görevlerden birisi güvenli parola oluşturabilme yeteneğine sahip olabilmeleridir.

Ayrıca, “şifre” ve “parola” ifadelerinin farklı kavramlar olduğunun farkına varılması son kullanıcı tarafından bilinmelidir. Dolayısıyla kavramların Türkçe karşılığının doğru kullanımının sağlanması açısından şifre kelimesi değilde parola kelimesi çalışma boyunca kullanılmıştır. Şifre ifadesi kriptoloji bilimi içerisinde kullanılan ve düz metin bir ifadenin şifreli metin haline getirilmesi sürecinde kullanılan bir terim iken, parola ifadesi ise bir sisteme dahil olabilmek için kullanılan bir karakter kümesini ifade etmektedir.

Son kullanıcıların etkili ve güvenilir parolalar oluşturması açısından farklı güncel çalışmaların yapıldığı görülmektedir. [6] numaralı çalışmada; dijital bir sistemde en zayıf halkanın insan olduğu belirtilmiş ve bu durum birçok kullanıcının oluşturduğu zayıf parolaların çok kısa sürelerde kırılması ile ortaya konmuş ancak güçlü parola oluşturma açısından güncel bir yaklaşım önerilmemiştir. [7] numaralı çalışmada; insanoğlunun dijital ortamda parolalar oluşturmaya başladığı yaklaşık yarım asırlık süreçte güçlü parolalar oluşturma yeteneğini kazanmadığı ortaya konmuş olup, hatırlanması kolay parola oluşturma yöntemlerinden kısaca bahsedilmiştir. [8] numaralı çalışmada; son kullanıcıların daha hatırlanabilir ve güvenli parola oluşturmaları açısından farklı güncel yöntemler önerilmiş olup bu yöntemlerin adım sayısının genellikle üçden fazla olması uygulanabilirlik açısından zorluk teşkil etmektedir. [9] numaralı çalışmada; son kullanıcıların göz hareketlerini izleyerek yapay zeka temelli bir parola üretici oluşturulmuş olup oluşturulan parolanın kullanıcı için anlamlı ve hatırlanabilir olması konusunda bir öneride bulunulmamıştır. Konu ile ilgili literatür detaylı incelendiğinde güçlü parola oluşturmaya yönelik yeni yaklaşımlar göze çarpmaktadır. Ancak oluşturulan güçlü parolaların son kullanıcılar tarafından kolaylıkla hatırlanmasını sağlayacak farklı yöntemlerin azlığı dikkat çekmektedir. Bu bağlamda son kullanıcıların, bildik klasik yöntemlerden farklı olarak etkin, güncel, güvenli ve hatırlanabilir parola oluşturma teknikleri ile alakalı Türkçe akademik yayına rastlanmamış olması bu çalışmanın ortaya çıkmasına temel oluşturmuştur. Genellikle sistem yöneticileri tarafından kullanılan parola oluşturma yöntemlerinin son kullanıcıya uyarlanabilecek bazı tarzları çalışmada sunulmuştur. Bu bağlamda çalışma, siber güvenliğin son kullanıcılara yansımaları açısından farklılığını ortaya koymaktadır. Ayrıca çalışmada; siber ortamdaki çevrimiçi kişisel verilerin korunması için yapılacakların belirlenmesi, kişisel verilerin korunmasına yönelik geleneksel ve güncel yaklaşımların değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde siber ortamda kişisel veri güvenliğine zarar veren bileşenler ele alınmaktadır. Üçüncü bölümde bu zafiyetlere karşı varlıkların korunması için gerekli önlemler değerlendirilmektedir. Dördüncü bölümde ise varlıkların korunmasına yönelik etkin parola oluşturma yaklaşımları önerilmektedir. Son bölümde çalışma güncel yaklaşımlar ışığında değerlendirilmektedir.

Kişisel veri ve siber güvenlik zafiyetleri

Siber ortamda bulunan bir veri veya sistem; gizlilik, bütünlük ve erişilebilirlik ilkelerini sağlıyor ise güvenli kabul edilir [10]. Gizlilik, verinin yetkisi olmayan başka bir kişi tarafından görülmemesi/okunmamasıdır. Bütünlük, verinin orijinal halinin her durumda sağlanması ve yetkisiz üçüncü taraflarca değiştirilememesidir. Erişilebilirlik, veriye erişim yetkisi olan taraflarca belirlenmiş zamanlarda erişilebilmesidir. Bu üç ilkedenden herhangi birinin sağlanamaması güvenlik zafiyeti olarak adlandırılır.

Kişisel veri

En genel tanımıyla kişisel veri, belirli ya da belirlenebilir gerçek kişiye ilişkin her türlü bilgidir [11]. O halde kişisel veriden söz edebilmek için, verinin (i) bir kişiye ilişkin ve (ii) bu kişinin de belirli ya da belirlenebilir nitelikte olması gerekir. Bu tanımda “her türlü” bilgi ifadesinin kullanılması oldukça geniş bir alanın hedeflendiğinin işaretidir. Burada bilginin türüne ilişkin herhangi bir ayırım yapılmamaktadır. Sayı, yazı, ses ya da görüntüden oluşan bir bilgi bu kapsamda yer alabilir.

Kişiyi doğrudan ya da dolaylı olarak belirlenebilir kılan kişisel veriler; bir kişinin adı, soyadı, adresi, telefon numarası, pasaport numarası, resmi, ses kaydı, genetik bilgileri, cinsel tercihleri, dini inançları, sabıka kaydı, hobileri, ziyaret ettiği internet siteleri gibi bilgiler bu kapsamda değerlendirilir. Siber bağlamda ise kişiye ait her türlü sayısal değer kişisel veri olarak nitelenir. Kişisel veriler, bireyin kişisel kimlik bilgilerini de içerir. Kimlik bilgileri ile kastedilen kişiyi tanımlayabilecek her türlü veridir. Kişisel veriler, dijitalleşmenin artması ile siber ortamlarda daha fazla bulunur hale gelmiştir [12]. Resim, dosya, parola gibi sayısal veriler hem taşınabilir bellek, sabit disk, optik disk, hafıza kartı gibi kişisel cihazlarda hem de web sitesi, bulut gibi harici çevrimiçi ortamlarda da depolanabilir. Dolayısıyla bu kapsamdaki bilgiler, kişisel verilerin korunmasında hâkim olan temel ilkelere göre işlenmeli ve depolanmalıdır.

Bireylerin çevrimiçi ve çevrimdışı kimliği bulunur. Çevrimiçi kimlik, siber alandaki kimliği ifade ederken, çevrimdışı kimlik ev, okul, iş gibi sosyal ortamlarda kişiyi niteleyen ve etkileşim kurmasını sağlayan kimliğidir. Bu çalışmada çevrimiçi kimlik verilerini koruma yolları değerlendirilmektedir. Devletler tarafından bu verileri koruma altına almak için çeşitli kanunlar yürürlükte olsa da, asıl olan son kullanıcıların siber güvenlik farkındalıklarının yüksek olmasının sağlanmasıdır. Ülkemizde 2016 yılında yürürlüğe giren KVKK (Kişisel Verileri Koruma Kanunu), kişisel verileri bulunduran kurumların bu verileri nasıl koruyacaklarının belirlenmesi açısından önemlidir.

Çevrimiçi kimlik siber uzayda kişiyi başkalarına tanımlar. Bu çevrimiçi kimlik, son kullanıcı ile ilgili

sınırlı miktarda bilgiyi içermelidir. Dolayısıyla; çevrimiçi kimlik için kullanıcı adı veya takma ad seçilirken herhangi bir kişisel bilgi içermemesi konusunda dikkatli olunmalıdır. Bu kullanıcı adı, siber saldırganlar için son kullanıcının kolay bir hedef olamayacağı göstermelidir [13].

Siber saldırganlar

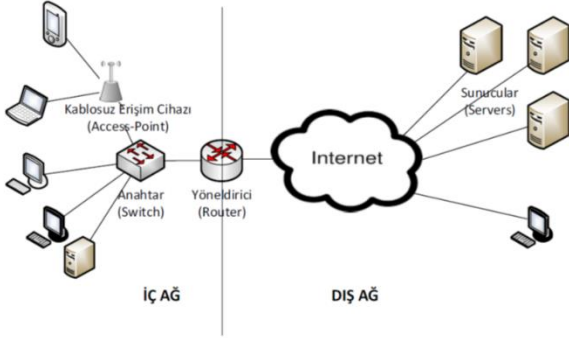
Siber ortamda gerçekleştirilen bir saldırının sorumlularını net bir şekilde bulmak kolay değildir. Bu saldırgan(lar) her cinsten, ırktan, yaştan, gruptan olabilir. Bu saldırı bir yapay zekâ ürünü bile olabilir. Saldırı sonucu kişisel verileri elde eden saldırganlar; kurban adına kredi kartı hesabı açma veya kredi alma, hedef bilgisayarı ele geçirme, kayıtlı parolaları elde etme, dosyaları silme, değiştirme, şifreleme gibi işlemler yapabilirler.

Siber saldırganlar, kişisel veya finansal kazançlar için güvenlik açısından yararlanmaya çalışan kişiler veya gruplardır. Amatör olarak siber atak gerçekleştirmeye çalışan saldırganlar, teknik bilgileri olmayıp hazır araçlar ile ufak saldırılar gerçekleştirmeye çalışırlar ve genellikle iz bıraktıkları için tespitleri çok kolaydır. Kişisel verilere yönelik saldırılarda amatör saldırganlar önemli bir paya sahiptirler. Profesyonel saldırganlar ise beyaz şapkalı (ethical hacker), siyah şapkalı ve gri şapkalı olarak üç sınıfa ayrılırlar. Siyah şapkalı saldırganlar, siber güvenliğe zarar verecek faaliyetleri, para kazanma, kişisel tatmin, politik sebepler gibi nedenlerden dolayı yasadışı gerçekleştirirler. Beyaz şapkalılar ise yasal bir şekilde bir sistemin zafiyetlerini tespit edip gerekli önlemleri almayı amaçlarlar. Sızma testleri beyaz şapkalılar tarafından yapılır. Gri şapkalılar beyaz ve siyah şapkalılar arasında yer alırlar. Belirledikleri bir sisteme sızarak, zafiyetleri tespit edip bunu para karşılığında saldırdıkları kişi/kurum veya üçüncü şahıslara bildirirler/satarlar. Bir sistemin açığını illegal olarak bulmak yasal suçtur. Dolayısıyla gri şapkalılar da siyah şapkalılar gibi yasadışı kabul edilirler. Bu saldırganlar bireysel olabileceği gibi genelde ekip halinde çalışırlar, organize ederler ve para elde etmeyi amaçlarlar [14].

Siber saldırı süreci

Son kullanıcıların bir ağ sistemini detaylı bilmeleri beklenemez. Ancak temel seviyede bir ağ yapısını bilmek saldırıların sürecini anlamayı kolaylaştırır. Bu durum son kullanıcıya kişisel siber güvenlik açısından farkındalık kazandırır. Şekil-1 de görüldüğü gibi yönlendirici cihazın internete bağlı kısmı dış ağ, diğer kısmı ise iç ağ oluşturur. Son kullanıcıyı daha fazla ilgilendiren kısım iç ağdır. İç ağ; ev, ofis, laboratuvar, bina vb. küçük ölçekli bir yerel ağdır. İç ağlarda özellikle kablosuz erişim cihazlarından veri dinlenmesi kablolu erişimde kullanılan anahtar cihazlara göre nisbeten daha kolaydır. Dış ağ seviyesindeki veri güvenliği son kullanıcının kontrolü dışındadır. Hem iç hem dış ağ yapısının temel olarak bilinmesi son kullanıcının bilgi güvenliği farkındalığı için önemlidir.

Bir siber saldırı sırası ile; keşif atakları, erişim atakları, servis dışı bırakma atakları olmak üzere üç aşamalı olarak gerçekleştirilir. Keşif atakları ile sistemdeki güvenlik zafiyetlerinin tespit edilmesi amaçlanır. Keşif atakları hedefin kişi veya kurum olmasına göre değişkenlik gösterir. Erişim atakları ile bulunan açıklar kullanılarak hedef sisteme sızma gerçekleştirilmeye çalışılır. Eğer saldırganlar sisteme erişim sağlayamaz ise sistemi servis dışı bırakma atakları ile erişilemez hale getirmeyi amaçlar [15].



Şekil 1. Tipik bir ağ mimarisi.

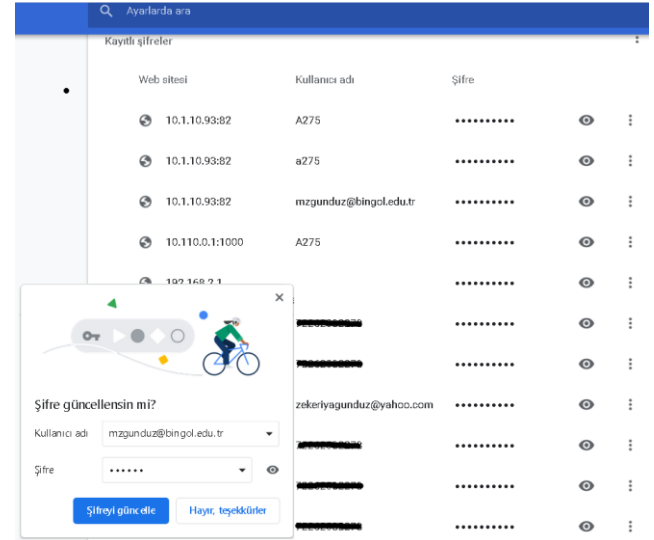
Keşif atakları hedef ile ilgili internette bilgi araştırması, ping taraması, port taraması, paketlerin dinlenmesi işlemlerini içerir. Örneğin hedef cihazın Ip adresi ping atılmak sureti ile elde edilebilir. Elde edilen Ip adresi sayesinde, ripe.net gibi veri tabanlarından whois sorguları yapılarak hedef hakkında kullandığı gerçek ip adres aralığı, bağlı olduğu ağ adı, bulunduğu ülke gibi temel seviyede bilgiler elde edilebilir. Özellikle elde edilen gerçek Ip adres aralığı, bu ağda dışardan erişilebilecek sunucu, yönlendirici, anahtar, bilgisayar cihazlarının varlığı hakkında bilgi verir. Bu Ip adres aralığındaki değerler aynı şekilde sorgulanarak temel bilgiler elde edilebilir. Elde edilen Ip adres aralığından angry ip scanner, nmap gibi bir yazılım ile bu aralıktaki tüm aktif cihazların adı, açık portları, MAC adresi, Ip adresi gibi bilgiler elde edilebilir. Erişilen ağdaki paketlerin içeriği ise wireshark gibi bir yazılım aracılığı ile incelenebilir [16].

Keşif aşamasında hedefin kişi veya kurum olmasına göre keşfedilmesi gereken parametreler ve kullanılacak ataklar değişir. Hedef; kişi ise keylogger, phishing mails, warez siteler (bedava yazılım, crack'li oyun/program veren siteler) vs. gibi kısa sürede sonuç verecek yöntemler kullanılır. Hedef bir kurum ise saldırı süreci, daha uzun süre ve organize bir yapı gerektirir. İnternet bilgi araştırması (Ip adresi, e-posta, sosyal medya araştırmaları vs.), ping taraması, port taraması, paketleri dinleme işlemleri yapılır. Bilgisayar ve sunucuların açıklarını tespit etmek için farklı tarama araçları kullanılır. Bu sayede sistem ile ilgili zafiyetler elde edilir [16].

Keşif aşamasında elde edilen bu bilgilerden sonra erişim aşamasına geçilir. Bu aşamada gizlilik-bütünlük-

erişilebilirlik ilkelerinden hangisine yönelik saldırı hedefleniyorsa saldırı süreci ona göre şekillenir. Bu doğrultuda, parolaların ele geçirilmesi, yazılımsal hatalardan (bug) yararlanılması (işletim sisteminde buffer overflow, web sayfalarında sql injection, xss vb.), ortadaki adam ataklarının gerçekleşmesi, zararlı yazılımların (virüs, solucan, Truva atı vb.) koşturulması gibi işlemler ile sisteme yetkisiz erişim sağlanmaya çalışılır.

Sunucu veya kişisel cihazların geçerli parolalarını ele geçirmek için en çok kullanılan yöntem kaba kuvvet saldırısıdır. Bu yüzden parolalar basit olmamalıdır [17]. Parola saldırıları, kişilerden ziyade zararlı yazılım bulaşmış cihazlar tarafından gerçekleştirilir. Bir web tarayıcısının kaydettiği tüm parolalar, bilgisayarın genel parolasını ele geçiren biri veya zararlı üçüncü parti yazılımlar tarafından kolaylıkla ele geçirilebilir. Bir saldırgan sadece kişinin bilgisayar parolasını ele geçirerek, Şekil 2'de görüldüğü gibi diğer tüm parolaları da ele geçirebilir. Bu parolalar makine ele geçirildiğinde çalınabilir, dolayısıyla tarayıcıya parola kaydetmek güvenlik riski oluşturabilir. Özellikle ssh portu açık olan sunucu, router gibi cihazlara erişmek için yapılan kaba kuvvet saldırıları günümüzde hala en etkili saldırıdır.



Şekil 2. Tarayıcı tarafından parola kaydedilmesi.

Https protokolü verinin şifreli gitmesini sağlar. Https protokolünün kullanılmadığı ağlarda ortadaki adam saldırısı ile kullanıcının tüm trafiğinin saldırgan cihazdan geçmesi sağlanabilir. Sahte DHCP, DNS, web sunucuları üretilerek bu işlemler gerçekleştirilebilir. Bu konular daha çok ağ güvenliği konusunda değerlendirilmektedir. Bu çalışma kapsamında son kullanıcıya ait verilerin güvenliğinin sağlanması ele alındığından detaya girilmemiştir.

Siber varlıkların korunması

İkinci bölümde bir siber saldırının nasıl gerçekleştirildiği ve saldırganların bir sistemi ele geçirmek için hangi yöntemleri kullandıkları üzerinde

duruldu. Bu bölümde ise ikinci bölümde bahsedilen siber saldırılara karşı siber varlıkları savunmak için kişisel düzeyde sağlanması gereken temel çözümlerden bahsedilmektedir.

Son kullanıcının verilerine erişmek için virüs, truva atı, solucan, fidye yazılımı, casus yazılım gibi zararlı yazılımlar son kullanıcının izni veya haberi olmadan bilgisayar, mobil/akıllı cihazlarına bulaşabilir. Verinin depolanmasını ve üzerinde işlem yapılmasını sağlayan bu cihazlar siber ortamın kapısıdır. Bu bağlamda, siber ortama bağlanacak son kullanıcı cihazlarının siber saldırılara karşı temel güvenliğinin sağlanması için bir takım önlemler son kullanıcı tarafından alınmalıdır.

İşletim sistemi güncellemelerinin yapılması: Her yazılım bir zafiyet veya yazılımsal hata barındırabilir. Dolayısıyla, ağ cihazları, bilgisayar, cep telefonu gibi İnternete bağlanan cihazların işletim sistemi güncellemeleri düzenli olarak yapılmalıdır. Güncellemeler işletim sistemine yeni özelliklerin eklenmesi, mevcut olanların iyileştirilmesi ve güvenlik zafiyetlerinin giderilmesini sağlarlar. Ağ cihazlarının da güvenlik açıkları olabilir, dolayısıyla güncellenmeleri gerekir. ADSL modem gibi ağ cihazlarının güncellemeleri orijinal kaynaklarından indirilecek firmware yazılımları ile sağlanmalıdır. Yazılım güncellemelerinin amacı sistemin güncel kalması ve güvenlik zafiyetlerini düzeltmektir.

Lisanslı yazılım kullanılması: Lisanslı yazılım kullanılması, ilgili yazılım fonksiyonlarının tam ve eksiksiz çalışmasını sağlar. Virüs riskine karşı güvenlidir. Orijinal yazılım kullanmak yasal yaptırımlara maruz kalınmasını engeller. Ayrıca orijinal olmayan yazılımlarda siber güvenlik açısından güvenilir bir güncelleme yapılamaz.

Kaynağı bilinmeyen yazılımların kullanılmaması: İnternet ortamı, taşınabilir bellek, e-posta aracılığı ile elde edilen, içeriği ve kaynağı tam olarak bilinmeyen özellikle exe, inf, bat, com uzantılı dosyalar kesinlikle çalıştırılmamalıdır.

Crack yazılım kullanımında dikkatli olunması: Oyun, resim, video gibi programlar genelde paralıdır. Bu programlar genelde ücretsiz olarak elde edilmek istendiği için crack halleri kullanılır. Crackli bir yazılımın muhtevası tam olarak bilinemediğinden ciddi güvenlik riski içerir. Çünkü çıkar sağlamaksızın ücretli bir oyun ücretsiz bir şekilde dağıtılmaz. Crackli yazılım barındıran cihazların güvenilirliği şüphelidir. Crack yazılım kullanmak konusunda ısrar edilirse sanal makine üzerine kurulacak bir işletim sisteminde çalıştırılması güvenlik riskini minimize eder. Crackli yazılım bulunan cihazda önemli işlemler yapılmamalıdır. Bir programın crack hali tersine mühendislik ile elde edilir.

Güvenli bağlantıya dikkat edilmesi (Https): Kullanıcı adı, parola verilerinin girildiği bir web sitesinin https protokolü kullanması gerekir. Https, bilgilerin şifreli bir şekilde gitmesini sağlar. Sayfanın herhangi bir köşesinde kilit işareti çıkmalıdır. Özellikle çevrimiçi bankacılık sitelerinde sitenin adı yeşil ile yazılır. Ayrıca kullanıcı adı ve parola girilecek siteler bir link aracılığı ile değil de bizzat yeni bir sayfede açılmalıdır.

Güvenlik Duvarının aktif edilmesi: Saldırganların kişisel veya kurumsal verilere erişmesini önlemek için bilgisayar güvenlik duvarı aktif ve güncel olmalıdır. Güvenlik duvarı, talep edilmeyen trafiği engelleyen yazılımdır. Birçok işletim sisteminde güvenlik duvarı varsayılan olarak açık gelir. Bazı programların yüklenmesi, bir ağa bağlanması gibi durumlarda güvenlik duvarının kapatılması gerekebilir. İlgili işlem bittikten sonra tekrar açılmalıdır. Özellikle kamuya açık bir kablosuz ağda kesinlikle açık olmalıdır [18]. Güvenlik duvarı filtreleme yapar, ağın içine yetkisiz erişimi engeller. Bu, son cihaza yetkisiz erişimi engelleyen host-based bir güvenlik duvarı sistemini veya dış ortamdan ağa yetkisiz erişimi önlemek için ana yönlendiricide (home router) temel bir filtreleme hizmetini içerebilir.

Antivirüs yazılımı kullanımı: Son cihazlara kötü amaçlı yazılım bulaşmasına karşı koruma sağlar. Son kullanıcı cihazında yüklü olan antivirüs yazılımı, en yeni kötü amaçlı yazılımlardan korunmak için güncel tutulmalıdır. Özellikle internet ortamında sörf yapmak, crackli program kullanmak gibi kullanım alışkanlığına sahip kullanıcılar antivirüs yazılımı kullanmalıdır. Antivirüs, cihazın performansını belli oranda düşürebilir. Dolayısıyla, antivirüs yazılımı kullanmak istemeyen kullanıcılar girdikleri bir sitenin veya indirdikleri bir dosyanın güvenliğini denetlemek için Cisco firmasına ait olan ve birçok antivirüs firmasının veritabanını tarayan, referansta verilen, ücretsiz çevrimiçi uygulamayı kullanabilir [19]. Ayrıca, hiçbir antivirüs yazılımının %100 güvenlik sağlayamayacağı unutulmamalıdır.

E-postalardaki linklere tıklanmaması: Bir e-postanın kimden geldiğine, gidilen linke dikkat edilmelidir. Bilinmedik bir e-postadan gelen linke veri girilmemelidir. Bunlar genelde spam klasörüne düşer. Şüpheli bir e-postada verilen link, arama motorunda aranmalıdır, linkin ne hakkında olduğu forumlardaki yorumlardan anlaşılacaktır. Dolayısıyla kesinlikle verilen linke tıklanıp yönlendirilen sitede kullanıcı adı / parola girilmemelidir. Ayrıca eklerde gelen exe, zip uzantılı dosyalar çok daha dikkatli açılmalıdır. Kullanıcı ile alakalı olmayan veya beklenen kişiler tarafından gönderilmemiş e-posta mesajlarının açılmamasına dikkat etmek çok önemlidir. E-posta açılmadan önce konu alanı ve gönderen adresi kontrol edilmelidir.

Çevrimiçi ortamlarda kişisel veri mahremiyetinin sağlanması: Bilgisayar, cep telefonu ve mobil cihazlar birer kişisel veri deposu halini almıştır. Ayrıca, sosyal

medya platformlarının ortaya çıktığı ilk yıllarda son kullanıcılar kişisel bilgilerini kontrolsüz bir şekilde paylaştılar. Bu durum birçok mağduriyetlere sebep olmaya devam etmektedir. Bu bağlamda; veri mahremiyetini sağlamak için son kullanıcılar tarafından sosyal medya ortamlarında gereksiz bilgi paylaşımı yapılmamalıdır. Sosyal medya profilleri gerekli en az kişisel veri ile doldurulmalıdır. Aşırı miktarda çevrimiçi kişisel bilgi paylaşımı, kötü niyetli kişilerce o kişi adına bir profil oluşturulmasını kolaylaştırır. Anne kızlık soyadı, doğum tarihi, doğum yeri gibi kritik olabilecek veriler tam olarak istenmemelidir. Sosyal medya ayarları sadece istenen kişilerin katılabileceği, görebileceği, yorum yapabileceği şekilde ayarlanmalıdır.

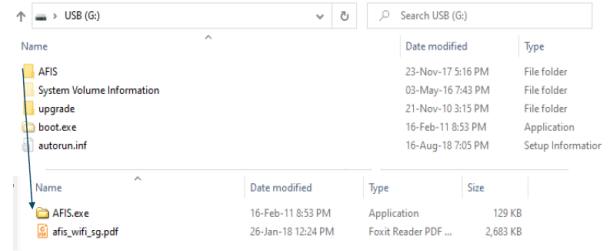
Tarayıcı gizlilik ayarlarının doğru yapılması: Son kullanıcının bilgisayarına veya ev yönlendiricisine erişimi olan bir saldırgan, bu kişinin web tarayıcı geçmişine, önbellek, kayıt(log) dosya verilerine erişerek kullanıcının profili hakkında bilgileri ele geçirebilir. Bu sorun web tarayıcısının sahip olduğu özel korumalı mod sayesinde en aza indirgenebilir. Örnek olarak Google Chrome web tarayıcısının özel korumalı modu *gizli pencere*dir. Özel korumalı mod kullanıldığında çerezler devre dışı bırakılır, ayrıca geçici internet dosyaları ve tarama geçmişi tarayıcı kapatıldıktan sonra otomatik olarak silinir. İnternet tarama geçmişini gizli tutmak, kullanıcının çevrimiçi etkinlikleri hakkında bilgi toplanmasını ve hedefli reklamlara maruz kalınmasını engellemede oldukça etkilidir.

Düzenli yedek alınması: Verilerin yedekleri harici bir sabit diskte veya bulut ortamında tutulabilir. Fiziksel olarak ayrı bir depolama cihazında saklanacak ise bu cihaz ayrı bir yerde muhafaza edilmeli, her cihaza takılmamalı, sürekli bir şekilde bilgisayara takılı tutulmamalıdır. Bulut da yedek alınacak ise yedekleme anında bağlantı kurulur, yedekleme bittikten sonra bağlantı kapatılır. Eğer bulut ortamı devamlı açık tutulur ise cryptolocker gibi saldırılar şekil-3 deki gibi buluttaki verileri de şifreleyebilir. Bulutun asıl amacının yedeklemekten ziyade farklı cihazlardan senkron çalışmaya olanak sağlamak olduğu da unutulmamalıdır. Bulut ortamındaki dosyalara bulaşmış bir zararlı yazılım var ise dosyaların silinmesinden başka bir yol yoktur.

Taşınabilir belleklerin dikkatli kullanılması: Taşınabilir bellekler virüs, truva atı, casus yazılım, solucan gibi birçok zararlı yazılımın yayılması için elverişli cihazlardır. Özellikle Windows işletim sistemleri için “Gizli dosyaları, klasör ve sürücülerini göster” seçeneği exe, inf, com, bat uzantılı dosyaları görmek için aktif olmalıdır. Çünkü bu dosyalar gizli dosyalardır. Bununla birlikte “Bilinen dosya türleri için uzantıları gizle” ve “Korunan işletim sistemi dosyalarını gizle” seçili olmamalıdır. Bu ayarların belirtildiği gibi olması durumunda virüslü bir taşınabilir belleğin içeriğinin nasıl görüleceği şekil-4 de gösterilmiştir.

Ad	Değiştirme tarihi
0D01 068.JPG.encrypted	24.03.2015 10:55
0D01 069.JPG.encrypted	24.03.2015 10:55
0D01 071.JPG.encrypted	24.03.2015 10:55
0D01 072.JPG.encrypted	24.03.2015 10:55
0D01 073.JPG.encrypted	24.03.2015 10:55
0D01 074.JPG.encrypted	24.03.2015 10:55
0D01 075.JPG.encrypted	24.03.2015 10:55
0R.70.57-000060.00.jpg.encrypted	24.03.2015 10:55
0R.72.57-000000.00.jpg.encrypted	24.03.2015 10:55
0R.74.00-000000.00.JPG.encrypted	24.03.2015 10:55
001.29.jpg.encrypted	24.03.2015 10:54
1YTU140025T5509.JPG.encrypted	24.03.2015 10:57
02.101.013.JPG.encrypted	24.03.2015 10:54
02.980.021.JPG.encrypted	24.03.2015 10:54
2TU012510-0205.JPG.encrypted	24.03.2015 10:58
2TU012550-0081.jpg.encrypted	24.03.2015 10:58
2TU012610-0067.jpg.encrypted	24.03.2015 10:58
2TU012610-0078.JPG.encrypted	24.03.2015 10:58

Şekil 3. Cryptolocker ile şifrelenmiş dosyalar.



Şekil 4. Virüslü dosya.

Autorun.inf dosyası varsayılan değerlerde son kullanıcıya kullanım kolaylığı sağlaması açısından Windows geliştiricilerince oluşturulmuş bir gizli dosyadır. CD, taşınabilir bellek gibi bir cihazın otomatik çalışmasını sağlar. Yani exe dosyasının otomatik çalışmasını sağlamak için kullanılır. Ancak bu faydalı özellik saldırganlar tarafından bir güvenlik zafiyeti olarak kullanılmaktadır ve virüs bulaşmış bir taşınabilir belleğin bilgisayara takıldığı anda otomatik olarak içindeki virüsü (boot.exe) çalıştırmak için kullanılmaktadır. Bu dosyanın içerisindeki kod şekil-5 deki gibi virüs dosyası olan “boot.exe” dosyasını çalıştıracak şekilde ayarlanmıştır. Dolayısıyla autorun.inf dosyasının otomatik çalışmaması için “Otomatik kullan” özelliği devre dışı bırakılmalıdır.”

```

autorun - devre_disi.inf
1 [AutoRun]
2 Open=boot.exe
3 Shell\Open=Aç
4 Shell\Open\Command=boot.exe
5

```

Şekil 5. Örnek bir autorun.inf dosyasının içeriği.

Farklı parolaların kullanılması ve parolaların yönetimi: Son kullanıcıların birçok çevrimiçi hesabı olabilir. Her bir çevrimiçi hesap için farklı ve benzersiz parolalar kullanılmalıdır. Bu durum hatırlanması gereken birçok parola demektir. Güçlü ve benzersiz parolalar kullanmamak, son kullanıcı verilerini siber suçlulara karşı savunmasız kılabılır. Tüm çevrimiçi hesaplar için aynı parolayı kullanmak, sahip olunan tüm kilitli kapılar için aynı anahtarı kullanmaya benzer. Eğer bir saldırgan bu anahtarı ele geçirecek olursa, sahip olunan her şeye erişebilecektir. Bir saldırgan kimlik avı yoluyla bir parolayı ele geçirirse ve son kullanıcı tüm hesapları için aynı parolayı kullanıyorsa diğer hesaplarını da kolaylıkla ele geçirecektir.

Günümüz son kullanıcıları, hatırlanamayacak kadar parola gerektiren çevrimiçi hesap kullanmaktadır. Bir parola yönetici yazılımı kullanmak farklı, güçlü parolalar oluşturmak ve bunları şifreli olarak saklamak için bir çözüm olabilir. Bu yazılım, çevrimiçi hesaplarda otomatik olarak oturum açmada kolaylık sağlayacaktır. Bunun için, parola yönetici yazılımının parolasını bilmek yeterli olacaktır.

Tablo-1'de gösterilen ve en çok kullanılan parolalar kullanılmamalıdır. Kaba kuvvet saldırılarına karşı parolalar altı ayda bir yenilenmelidir. Ayrıca, parolaların sanal klavye ile girilmesi kısmi olarak tuş kaydedici yazılımlarına karşı güvenlik sağlar. Bu konu bölüm 4 de yeni yaklaşımlar ışığında detaylı olarak incelenmiştir

Tablo 1. En Çok Kullanılan Parolalar.

Dragon	12345678	654321	admin
1234	123456789	password	qwerty
12345	1234567890	password1	qwerty123
123456	123123	abc123	Princess
1234567	111111	Monkey	Iloveyou

Bu önlemlere ilave olarak; gönderilen e-postaların üçüncü kişiler tarafından okunmasını engellemek için gerekli protokoller aktif edilmelidir. Ayrıca, bilgisayar veya mobil cihazdan silinen hassas veriler, bu cihazlar teknik servise verme, satma vb. gibi üçüncü kişilerin eline geçtiğinde bile, ele geçirilemeyecek şekilde özel programlar ile kalıcı olarak silinmelidir. Bankacılık işlemlerini GSM teknolojilerinin sağladığı web hizmetleri üzerinden yapmak daha güvenilirdir. Özellikle Android işletim sistemine sahip kullanıcılar yükledikleri yazılımların güvenilirliği konusunda dikkatli olmalıdırlar.

Önerilen yeni yaklaşımlar

Önceki bölümlerde siber güvenliğin özellikleri ve karakteristiğinin yanında, çevrimiçi kimlik ve dijital verilerin siber saldırganlar açısından önemi son kullanıcı seviyesinde açıklanmıştır. Bu bölümde kişisel

çevrimiçi kimlik ve verilerin siber güvenliğinin sağlanması parola yönetimi açısından yeni yaklaşımlar ile ele alınmaktadır.

Parola dış fırçası gibidir. Başkasının kullanmasına izin verilmez ve altı ayda bir değiştirilmelidir. Siber saldırganlar, aynı parolayı farklı web sitelerinde ve hesaplarda kullanmalarından dolayı, birçok son kullanıcının çevrimiçi kimlik ve hesap bilgilerini ele geçirebilirler. Tek parola ile aynı anda birden fazla işi yapmak (PC, mail, sunucu, VPN erişim parolaları gibi) tek parola ile her şeye girmek (single-sign-on) anlamına gelir ve bu güvenlik açısından sıkıntılı bir yaklaşımdır. Çünkü parolayı kaybetmek her şeyi kaybetmek anlamına gelir. Farklı parola algoritmaları geliştirmek bunun en uygun çözümüdür [13].

Muhtemel bir saldırıda, on karakterli bir parolada büyük harf, küçük harf, rakam ve özel karakterlerden oluşan bir parolanın kaba kuvvet saldırıları tarafından kırılması çok daha uzun olacaktır. Bir parolanın en az sekiz karakter içermesi önemlidir. İçerisinde sayısal olmayan bir karakter barındırması parolanın kırılma süresini yüzlerce yıla kadar çıkarmaktadır.

Güvenli parola oluşturmada temel adımlar

Parola isteyen uygulamalar tarafından güvenli parola oluşturma konusunda son kullanıcılara temel düzeyde bazı zorunlu yönlendirmeler yapılmaktadır. Bu yönlendirmeler genel olarak şu şekilde özetlenebilir:

- Sekiz veya daha fazla karakterden oluşan bir parola kullanılmalıdır.
- Herhangi bir dilde yaygın kullanılan kelimeler ve isimler kullanılmamalıdır.
- Özel karakterler (! @ # \$ % ^ & * () vb.) kullanılmalıdır.
- abc123 gibi kolay tahmin edilebilen parolalar kullanılmamalıdır.
- Ardışık rakam ve harfler tercih edilmemelidir.
- Parola ile ilgili ipucu soruları oluşturulmamalıdır.
- Küçük ve büyük harfler bir arada kullanılmalıdır.
- Bir dilin sözlüğünde bulunan kelimeler parola olarak kullanılmamalıdır.

Bu yönlendirmeler kullanıcının iyi bir parola oluşturması için yeterli olur. Ancak daha güçlü parolaların oluşturulması ve bunların hatırlanması son kullanıcılar için zor olabilmektedir. Tablo-2 de Normal-İyi-En İyi olarak oluşturulan parola örnekleri gösterilmiştir. Oluşturulan parolalar belli bir algoritmaya veya yapıya göre oluşturulmaz ise son kullanıcılar için kontrolü zor durumların ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. Günümüzde parola kullanımı e-devlet, eğitim, sağlık, banka işlemleri gibi birçok web uygulamasında kullanılmaktadır. Bu kadar çok parolanın yönetimi için kağıda yazmak, aynı

parolayı her yerde kullanmak, parola yönetim uygulamaları kullanmak gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemlerin de güvenlik zafiyetleri içerdiği bilinmektedir. Güçlü parolalar oluşturmak farkındalık çalışmaları sayesinde bilinçli kullanıcılar için sorun olmaktan çıkmış olmasına rağmen bu parolaların hatırlanması bir problem olarak varlığını devam ettirmektedir. Bu problemin çözümü için Bilişim Teknolojileri (BT) alanında çalışan kişilerin sıklıkla kullandıkları ama son kullanıcıların farkında olmadıkları parola cümlesi (passphrase) yöntemi kalıcı bir çözüm sağlayacaktır [20].

Tablo 2. İyi - Daha iyi - En iyi parola örnekleri.

İyi	Daha İyi	En İyi
allwhitecat	a1lwhitecat	A1lwhi7ec@t
Fblogin	1FBLogin	1.FB.L0gin\$
amazonpass	AmazonPa55	Am@z0nPa55
Ilikemyschool	ILikeMySchool	!Lik3MySch00l
Hightidenow	HighTideNow	H1gh7id3Now

Ayrıca, kurum ve şirketlerde parola güvenliğini sağlamak için parola oluşturma ve değiştirme politikaları oluşturulur. Bu politikalara göre hareket etmek tüm çalışanların yerine getirmesi gereken bir sorumluluktur.

Önerilen parola oluşturma yöntemleri

Dijital ortamlarda bulunan cihazları ve verileri yetkisiz erişimlere karşı korumak için klasik parolalar yerine, parola cümleleri kullanmak daha güvenilirdir [21]. Bir kullanıcı gizliliğe önem vermeye ve dijital güvenlik alışkanlıklarını geliştirmeye başladığında, atacağı ilk adımlardan biri parola cümlesi oluşturmak zorunda kalmasıdır. Parola cümlesi, kullanımda parolaya benzer ancak ek güvenlik için genellikle daha uzundur [10]. Parola cümlesi, klasik bir parola oluşturmaktan daha kolaydır, çünkü parola cümlesi bir kelimedenden ziyade hatırlanması daha kolay bir cümle şeklindedir. Uzun parola cümleleri, sözlük ve kaba kuvvet saldırılarına karşı direnci artırır [22]. Ayrıca, parolanın belli zaman aralıklarında değiştirilmesi gerekiyorsa, bir parola cümlesinin hatırlanması daha kolay olabilir. Bu bağlamda; bu bölümde iyi bir parola cümlesi oluşturmak için yaklaşımlar sunulmaktadır.

Güçlü bir parola en az birer tane büyük harf, küçük harf, rakam ve özel karakter barındırmalıdır. Varyasyonu büyülttüğü için bu parolaların kriptografik olarak kırılması günümüz bilgisayarları ile neredeyse mümkün değildir. Bu parolaları oluşturup akılda tutmak bazen zor olabilmektedir. Bunun için bilişim sektöründe çalışanların sık kullandığı ancak son kullanıcıların pek bilmediği bir parola oluşturma yöntemi olan parola cümleleri kullanılmalıdır. Parola cümlesi ile parola oluşturmaya örnek olarak “Benim annem bir melektir.”

cümlesi kullanılacak olursa her ifadenin ilk iki karakteri alınır ise “Bean1me.” parolası elde edilir. Parolanın anlamsız olması önemli değildir. Önemli olan parola cümlesinin unutulmamasıdır. Oluşturulacak parola paylaşılmamalı ve cümle unutulmamalıdır. Parola sözlük kelimesi olmamalıdır. Klasik yöntemler ile oluşturulan bir paroladan ziyade, bir parola cümlesi kullanmak daha güvenilirdir. İyi bir parola cümlesi oluşturmak için şunlara dikkat edilmelidir [22], [23].

- Kişi için anlamlı bir metin seçilmelidir.
- Parola cümlesi içerisinde (@ . - _ ~ ! # \$ % ^ & *) özel karakterinden kullanılmalıdır.
- Parola cümlesinin uzun olması tercih sebebidir.
- Popüler bir şarkının sözleri gibi yaygın ifadeler kullanılmamalıdır.
- Karakterler, rakamlar, harfler birbirlerinin yerine kullanılmalıdır.
- En az 15, tercihen 20 karakterden oluşmalı ve tahmin edilmesi zor olmalıdır.
- Büyük harf, küçük harf, rakam ve tercihen en az bir noktalama karakteri içermelidir.

Hatırlanması kolay bir parola cümlesini oluşturmak için üç yöntemden biri tercih edilebilir:

İlk yöntemde kısa bir parola cümlesi tamamen küçük harfler ile oluşturulur. Bazı harfler büyük harfe çevrilir. Bazı harfler sayılara ve sembollere çevrilir. Bazı kelimeler kısaltılır veya farklı hecelenir. İlk yöntemde şu iki örnek verilebilir:

Parola cümlesi: iki bardak buzlu su alalım
Değişimler: L-1→!, su→S, B-b→6, A-a→@, I-ı-İ-i→1
Kodlanmış Parola Cümlesi: 26@rd@k6uz!uS@!@!1m

Parola cümlesi: benim iki oğlum var
Değişimler: 1→!, b→6, a→@, i→1, o→0, ğ→9, e→3, iki→2, var→V
Kodlanmış Parola Cümlesi: 63n1m209!umV

İkinci yöntem olarak birkaç kısa kelime belirlenir ve cümlelerin ortasına kullanıcı için anlamlı olan bir sayı eklenir. Harfler için büyük harf ve sembol değişimleri yapılır. İkinci yöntemde şu iki örnek verilebilir:

Parola cümlesi: Sinop 1876 Boyabat
Değişimler: S→&, i→1, o→(), a→@, t→7
Kodlanmış Parola Cümlesi: &1n(p1876B()y@b@7

Parola cümlesi: sağlam 2129 şifre
Değişimler: a→@, ğ→9, 1→!, ş→\$, i→1, e→3
İlk kelimenin ilk harfini büyük harfe çevir.
Kodlanmış Parola Cümlesi: S@9!@m2129\$1fr3

Üçüncü yöntem olarak unutulmaz bir alıntı veya kelime öbeği seçilir. Bu öbekte özel karakter bulunmalıdır. Her kelimenin yalnızca ilk harfi kullanılır. Büyük harf

değişimi seçilecek kelime konumuna göre yapılır. Üçüncü yönteme şu iki örnek verilebilir:

Parola cümlesi: hiç çekmediğiniz şutların yüzde 100'ünü her zaman kaçıracaksınız.

Değişimler: Son kelimenin baş harfi büyük yazılacak.
Kodlanmış Parola Cümlesi: hçş%100hzK.

Parola cümlesi: ayda 1 yaşlıları ziyaret etmek için huzur evine gider misin?

Değişimler: İlk kelimenin baş harfi büyük yazılacak.
Kodlanmış Parola Cümlesi: A1yzeihgm?

Bazı kaynaklarda boşluk tuşunun parola oluşturulmasında kullanılabilirden bahsedilse de çoğu sistemde parola oluştururken buna izin verilmemektedir. Dolayısıyla @ . - _ ~ ! # \$ % ^ & * () dışında özel karakter kullanılmamalıdır. Oluşturulan bu kodlanmış parola cümlelerinin ne kadar sürede kırılabilirliği [24] referansında belirtilen çevrimiçi araç ile sınanabilir. Parola cümlesi oluşturmak ile ilgili son kullanıcılar kendilerine özel farklı yöntemler de geliştirebilirler. Bu çalışmada güçlü ve hatırlanması kolay parola oluşturulması amaçlandığı için belirtilen üç yöntemin kişisel siber güvenlik farkındalığı açısından katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Sonuç

Bilişim cihazlarına güvenli erişimi sağlamak önemlidir. Bununla beraber bu cihazlarda iletilen ve depolanan verilerin bütünlüğünü ve gizliliğini, son kullanıcıları bilinçlendirecek şekilde sağlamak da oldukça önemlidir. Çevrimiçi kişisel veriler siber saldırganlar için değerlidir. Çevrimiçi kimliğini, dijital verilerini, ağ ortamlarına bağlı cihazlarının siber güvenliğini sağlamak belli oranda son kullanıcının da sorumluluğundadır. Bu bağlamda; son kullanıcılar için çevrimiçi ortamlarda kişisel bilgilerin paylaşımında dikkat edilmesi gereken en önemli husus kişisel siber güvenlik açısından farkındalık sahibi olmaktır. Kişisel kimlik bilgileri ile kurum çalışanlarının kurumsal ve yönetsel verilere erişilebilmesi durumu son kullanıcı farkındalığını daha da artırmaktadır. Kişisel verilerin korunmasına yardımcı olması için; “çevrimiçi olarak yapılması ve yapılmaması gerekenlerle ilgili bilgilendirmeler yapmak, son kullanıcı farkındalığı için önemlidir” ilkesi ile çevrimiçi verilerin güvenliğini artırmak amaçlanmıştır.

Kişisel verilerin ve cihazların siber güvenliğinin sağlanmasına odaklanılan çalışmada; son kullanıcılar tarafından bilinmeyen güçlü parola cümlesi oluşturma yöntemlerinden bahsedilmiştir. Geliştirilmiş parolalar oluşturmak, yüksek güvenlik gerektiren kurumlarda çalışanlar için bir zorunluluktur. Bu durum, kişisel siber güvenliğinin artırılması açısından son kullanıcılar için de bir standart haline getirilebilir. Güvenli parola cümleleri yeni nesil parolalardır. Başka birinin tahmin etmesini zorlaştırmak için tek bir kelime yerine bir cümle kullanılır. Bu çalışmada ele alınan parola oluşturma

yöntemlerinin uygulanabilir bir şekilde son kullanıcıya aktarılmasının kişisel siber güvenliğinin oluşturulması açısından önemli bir farkındalık sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Kaynakça

- [1] N. Wiener, "Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine", MIT Press, 1961.
- [2] M. Z. Gündüz ve R. Daş, "Nesnelerin İnterneti: Gelişimi, bileşenleri ve uygulama alanları", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, c. 24, sy 2, 2018.
- [3] M. Butavicius, vd., "When believing in technology leads to poor cyber security: Development of a trust in technical controls scale", Computers & Security, c. 98, 2020.
- [4] M. Grobler, vd., "The importance of social identity on password formulations", Personal and Ubiquitous Computing, c. 25, sy 5, 2021.
- [5] M. Z. Gündüz ve R. Daş, "Sosyal Mühendislik: Yaygın Ataklar ve Güvenlik Önlemleri", Uluslararası Bilgi Güvenliği ve Kriptoloji Konferansı, 2016.
- [6] M. Awad, vd., "Password security: Password behavior analysis at a small university", 5th International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications, 2016.
- [7] V. Taneski, M. Heričko, ve B. Brumen, "Password security - No change in 35 years?", 37th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, 2014.
- [8] M. Yıldırım ve I. Mackie, "Encouraging users to improve password security and memorability", International Journal of Information Security, c. 18, 2019.
- [9] M. M. Algharibeh, G. Husari, S. Jaf, "A Data-Driven Password Strength Meter for Cybersecurity Assessment and Enhancement", 23rd Int Conf on High Performance Computing & Communications, 2021.
- [10] P. A. Grassi, M. E. Garcia, ve J. L. Fenton, "Digital identity guidelines: revision 3", National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, NIST SP 800-63-3, 2017.
- [11] <https://www.kvkk.gov.tr/Icerik/2050/Kisisel-Veriler> (erişim tarihi: 01.05.2022).
- [12] Y. Guo, Z. Zhang, Y. Guo, ve X. Guo, "Nudging personalized password policies by understanding users' personality", Computers & Security, c. 94, 2020.
- [13] F. Z. Glory, vd., "Strong Password Generation Based On User Inputs", IEEE 10th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference, 2019.
- [14] T. Georg, B. Oliver, ve L. Gregory, "Issues of Implied Trust in Ethical Hacking", The ORBIT Journal, c. 2, 2018.

- [15] Y. Ayrour, A. Raji, ve M. Nassar, "Modelling cyber-attacks: a survey study", Network Security, doi: 10.1016/S1353-4858(18)30025-4.
- [16] B. Alhayani, vd., "Best ways computation intelligent of face cyber attacks", Materials Today: Proceedings, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.557.
- [17] K. S. M. Moe ve T. Win, "Improved hashing and honey-based stronger password prevention against brute force attack", International Symposium on Electronics and Smart Devices, 2017.
- [18] P. Maniriho, vd., "A study on malicious software behaviour analysis and detection techniques: Taxonomy, current trends and challenges", Future Generation Computer Systems, c.130, 2022.
- [19] <https://www.virustotal.com/gui/home/upload> (erişim tarihi: 01.05.2022).
- [20] Y. Zhao, vd., "Password Expiration Strategy: A Perspective of Ecological Memory", IEEE Fifth International Conference on Big Data Computing Service and Applications, 2019.
- [21] B. Ur vd., "Design and Evaluation of a Data-Driven Password Meter", CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2017.
- [22] D. Pasquini, vd., "Reducing Bias in Modeling Real-world Password Strength via Deep Learning and Dynamic Dictionaries", USENIX Security Symposium, 2021.
- [23] K. S. Walia, S. Shenoy, ve Y. Cheng, "An Empirical Analysis on the Usability and Security of Passwords", IEEE 21st International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science, 2020.
- [24] <https://howsecureismypassword.net/> (erişim tarihi: 03.05.2022).



Akım Modlu Dördüncü Derece Fark Alıcı AB-Sınıfı Logaritmik Ortam Chebyshev Süzgeç Tasarımı

Current Mode Differental Type Fourth Order Class AB Log Domain Chebyshev Filter Design

Derya Barış Köroğlu^{1*}, Ali Kırçay²

¹Harran Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, deryabarıs4@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2908-8742>

²Harran Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, kircay@harran.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6395-8270>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 3 Haziran 2022
Revizyon 17 Haziran 2022
Kabul 21 Haziran 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

Logaritmik Ortam, Analog Devreler, Akım Modlu Sistemler, Chebyshev Süzgeçler, Çok Yüksek Frekans Uygulamaları..

ÖZ

Bu çalışmada durum uzay sentez metodu kullanılarak, akım modlu dördüncü derece fark alıcı AB sınıfı logaritmik ortam Chebyshev alçak geçiren süzgeç tasarlanmıştır. Önerilen süzgecin kesim frekansı 50Mhzdir. Tasarımda sadece BJT , topraklı kapasitör ve 2.5 V besleme kaynağı kullanılarak çalışılmıştır. Süzgeç parametreleri değiştirilerek kesim frekansı kolayca ayarlanabilmektedir. Bu ayarlama akım kaynakları değiştirilerek yapılmaktadır. Literatürde bulunan Chebyshev süzgeçlere göre yüksek frekanslarda çalışıyor olması önemli avantaj sağlamaktadır. Teorik analiz sonuçları PSPICE yardımıyla doğrulanmıştır. Tasarlanan süzgeç için ideal BJT ve AT&T CBIC-U2 tip transistör kullanılmıştır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 3 June 2022
Received in revised form 17 June 2022
Accepted 21 June 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Log domain, Analog Circuit, Current Mode Systems, Chebyshev Filters, Very High Frequency Applications.

ABSTRACT

In this study, using the current mode state space synthesis method, a class AB log domain Chebyshev low-pass filter is designed. The cut-off frequency of the proposed filter is 50Mhz. In the design, the BJT, a grounded capacitor and a 2.5 V supply source has been studied. The cut-off frequency can be easily adjusted by changing the filter parameters. This adjustment is done by changing current sources. It provides a significant advantage that it operates at high frequencies compared to Chebyshev filters in the literature. The theoretical analysis results were verified with the help of PSPICE. Ideal BJT and AT&T CBIC-U2 type transistors are used for the designed filter.

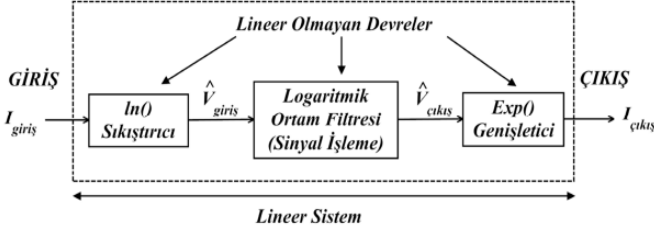
Doi: 10.24012/dumf.1125727

* Sorumlu Yazar

Giriş

Logaritmik ortam süzgeçleri, akım modlu devre ailesinin en önemli yapılarından biridir.

Logaritmik tabanlı filtreler, düşük voltaj, düşük güç, düşük empedans seviyeleri, dinamik aralık, yüksek frekans uygulamaları için uygunlukları ve elektronik olarak ayarlanabilmesi nedeniyle tercih edilmektedirler. Logaritmik tabanlı filtrenin önemli bir özelliği sinyaller işlenmeden önce giriş aşamasında sıkıştırılması ve ardından çıkış aşamasında üstel olarak genişletilmiş olarak kullanılmasıdır. [1],[2]



Şekil 1. Logaritmik Ortamda Genlik Uygunlaştırma Tekniği

Sinyallerin sıkıştırılması ve genişletilmesi transistörün logaritmik/üstel voltaj akım ilişkisine dayanır. Bu özellik logaritmik tabanlı filtrelerin dinamik aralıktan ödün vermeden düşük besleme gerilimiyle çalışmasını sağlar.

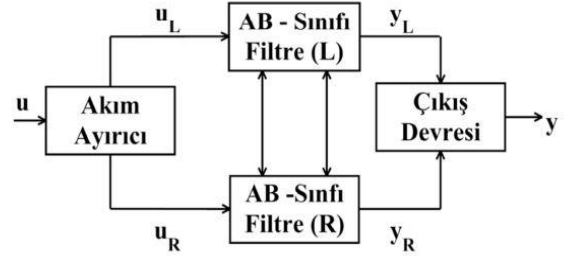
Logaritmik ortam süzgeçlerinin sentezinde farklı modelleme yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar durum uzayı, blok modelleme ve isaret akış diyagramı gibi çeşitli yöntemlerdir. [2],[3] Durum-uzay sentez yöntemi, logaritmik tabanlı filtrelerin sentezi için çok güçlü ve etkili bir yaklaşımdır. [4],[5] Filtre fonksiyonunu gerçekleştirmeye yönelik çok genel bir çözüm sağlar. Bu çalışmada durum uzay yöntemi kullanılacaktır. Durum-uzay yöntemlerinin kullanımının temel yönü doğrusal olmayan filtreleri eşdeğer doğrusal sistemlerle tam olarak ilişkilendirmektir.

BJT'nin exponansiyel I-V karakteristiği, logaritmik ortam filtrelerini gerçeklemek için durum uzayı lineer denklemleriyle eşleştirme yoluyla bu yöntem kullanılmış olur.

Chebyshev filtreler, frekans cevabı iletim bandı ve sönüm bandı arasında keskin bir geçiş sağlar. Bu geçiş dalgalanmaya izin veren matematiksel yaklaşımı kullanılarak tasarlanır. Butterworth'e göre geçiş bandından durdurma bandına daha hızlı geçiş sağlamanın en büyük avantajlarından biridir. Bunların yanı sıra hızlı olması nedeniyle birçok uygulama alanlarında da tercih edilmektedir. Chebyshev süzgeçler video frekans uygulamaları için [6] tercih edilirken, biyomedikal alanlarda da kullanımı yaygındır. Karekök Sinh gibi farklı tabanlarda da Chebyshev süzgeç türlerine rastlamak mümkündür. Bu tasarımlardan bir tanesi karakök tabanlı olarak [7], bir diğeri ise Sinh ortam filtresi olarak biyomedikal uygulamalar için tasarlanmıştır. [8] Düşük frekans uygulamaları için ise ilk kez IFLF (Inverse Follow The Leader Feedback) topolojisi kullanılarak [9] alçak geçiren bir süzgeç olarak literatürde yer almaktadır.

AB sınıfı süzgeç fikri ilk defa Seevinck tarafından sunulmuştur. [4] AB sınıfı filtre yapısını Seevinc ve Frey logaritmik ortama taşımıştır. [2] AB sınıfı fark alıcı süzgeçler sol ve sağ olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır.

AB Sınıfı logaritmik tabanlı süzgeçlerin A sınıfı süzgeçlere göre yüksek dinamik aralık, düşük güç tüketimi, düşük gürültü, doğrusallık gibi üstünlükleri bulunmaktadır. [2]



Şekil 2. AB Sınıfı Çalışma Yapısı

Logaritmik tabanlı filtreler ilk olarak A sınıfı olarak tasarlanmıştır. A sınıfı yapılarında giriş akımı DC olarak ötelenir. A sınıfı devreler tasarımın kolaylığı nedeniyle tercih edilmektedir. Fakat istenilen transfer fonksiyonunu gerçeklemek her zaman mümkün değildir.

AB sınıfı yapılarında ise sağ ve sol olmak üzere devre ikiye ayrılır ve birbirleriyle haberleşmesi sağlanır. AB sınıfı yapılarında Şekil 2'de görüldüğü gibi öncelikle devrenin giriş akımı ikiye ayrılır. Süzgecin çıkışından elde edilen akımların çıkış

devresinde fark alma işlemi gerçekleşir. Sunulan devre, AB sınıfı devre yapısında tasarlanmıştır. A sınıfı ve AB sınıfı devre yapısı kullanılarak tasarlanan birçok logaritmik ortam filtre devresi çalışmaları bulunmaktadır. [6],[7] Literatürde bulunan Chebyshev süzgeçler [10]-[13]'de verilmiştir. Tasarlanan süzgecin literatürdeki diğer süzgeçlere göre bir takım üstünlükleri bulunmaktadır. BJT ve topraklanmış kapasite kullanımı, yüksek frekanslarda çalışabilmesi, hızlı olması tasarımı olumlu kılan önemli özellikleridir. Önerilen süzgeç yapısı, durum uzay metodu ile AB sınıfı fark alıcı olarak logaritmik ortamda gerçekleştirilmiştir. Chebyshev süzgeç tasarımında farklı kazanç değerleri için pay ve payda katsayıları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Normalize Edilmiş Alçak Geçiren Chebyshev Filtre Katsayıları (0.1dB için)

n	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7
1	6.55222							
2	3.31329	2.37209						
3	1.63809	2.62953	1.93883					
4	0.82851	2.02550	2.62680	1.80377				
5	0.40951	1.43556	2.39696	2.77071	1.74396			
6	0.20713	0.90176	2.04784	2.77908	2.96575	1.71217		
7	0.10238	0.56179	1.48293	2.70514	3.16925	3.18350	1.69322	
8	0.05179	0.32645	1.0667	2.15932	3.41855	3.56485	3.41297	1.68104

Süzgecin parametrelerinin ayarlanabilmesi kullanılan devre elemanlarının yapısı ve sentez yöntemi nedeniyle diğer süzgeçlere göre yapısal olarak avantaj sağlamaktadır.

Tasarım

Dördüncü derece alçak geçiren filtrenin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{I_{out}(s)}{I_{in}(s)} \quad (1)$$

$$H(s) = \frac{a_0 \omega_0^4}{s^4 + b_3 \omega_0 s^3 + b_2 \omega_0^2 s^2 + b_1 \omega_0^3 s + b_0 \omega_0^4} \quad (2)$$

Burada ω_0 filtrenin kesim frekansdır. Pay ve payda katsayıları sırasıyla a_0 ve b_0, b_1, b_2, b_3 gerçekte sayılardır. Durum uzayı sentezi yöntemi birinci derece diferansiyel denklemlerden oluşur. Durum değişkenleri düğüm voltajlarının basit üstellerinin fonksiyonlarıdır. Transfer fonksiyonları birinci dereceden denklemlere dönüştürüldüğünde;

$$\dot{x}_1 = \omega_0 x_2 \quad (3)$$

$$\dot{x}_2 = \omega_0 x_3 \quad (4)$$

$$\dot{x}_3 = \omega_0 x_4 \quad (5)$$

$$\dot{x}_4 = -b_0 \omega_0 x_1 - b_1 \omega_0 x_2 - b_2 \omega_0 x_3 - b_3 \omega_0 x_4 + a_0 \omega_0 u \quad (6)$$

$$\text{Çıkış denklemi bağıntısı : } y = x_1 \quad (7)$$

Denklemlere bakacak olursak u giriş, y çıkış, x_1, x_2, x_3, x_4 durum değişkenleridir. AB sınıfı fark alan yapıya uygun olarak durum değişkenleri, giriş ve çıkış işareti Denklem 8'deki gibi sağ ve sol taraf olarak iki kısma ayrılır.

$$x_1 = x_{1L} - x_{1R} \quad (8)$$

$$x_2 = x_{2L} - x_{2R} \quad (9)$$

$$x_3 = x_{3L} - x_{3R} \quad (10)$$

$$x_4 = x_{4L} - x_{4R} \quad (11)$$

$$u = u_L - u_R \quad (12)$$

$$y = y_L - y_R \quad (13)$$

Filtre devresini gerçekleştirmek için sağ ve sol uygunca düzenlenmelidir.

Sağ ve sol eşitlikleri uygunlaştırılırsa :

$$\dot{x}_{1L} = \omega_0 x_{2L} - \frac{\omega_0}{I_{f1}} x_{1L} x_{1R} \quad (14)$$

$$\dot{x}_{2L} = \omega_0 x_{3L} - \frac{\omega_0}{I_{f1}} x_{2L} x_{2R} \quad (15)$$

$$\dot{x}_{3L} = \omega_0 x_{4L} - \frac{\omega_0}{I_{f1}} x_{3L} x_{3R} \quad (16)$$

$$\dot{x}_{4L} = -b_0 \omega_0 x_{1L} - b_1 \omega_0 x_{2L} - b_2 \omega_0 x_{3L} - b_3 \omega_0 x_{4L} + a_0 \omega_0 u_L - \frac{\omega_0}{I_{f1}} x_{3L} x_{3R} \quad (17)$$

Sağ taraf için denklemler tekrar yazılırsa ;

$$\dot{x}_{1R} = \omega_0 x_{2R} - \frac{\omega_0}{I_{f1}} x_{1L} x_{1R} \quad (18)$$

$$\dot{x}_{2R} = \omega_0 x_{3R} - \frac{\omega_0}{I_{f1}} x_{2L} x_{2R} \quad (19)$$

$$\dot{x}_{3R} = \omega_0 x_{4R} - \frac{\omega_0}{I_{f1}} x_{3L} x_{3R} \quad (20)$$

$$\dot{x}_{4R} = -b_0 \omega_0 x_{1R} - b_1 \omega_0 x_{2R} - b_2 \omega_0 x_{3R} - b_3 \omega_0 x_{4R} + a_0 \omega_0 u_R - \frac{\omega_0}{I_{f1}} x_{3L} x_{3R} \quad (21)$$

$$y_R = x_{1R} \quad (22)$$

Yukarıdaki denklemlere üstel aktarım fonksiyonu uygulanırsa doğrusal olmayan ortama taşınmış olur. Üstel tasarım fonksiyonları seçilirken, BJT'nin üstel aktarım fonksiyonuna uygun fonksiyon seçilmelidir. BJT'nin β 'sı sonsuz kabul edilmiştir.

$$x_{1L} = I_s e^{\frac{v_{1L}}{V_t}}, \quad x_{2L} = I_s e^{\frac{v_{2L}}{V_t}}, \quad x_{3L} = I_s e^{\frac{v_{3L}}{V_t}}, \\ x_{4L} = I_s e^{\frac{v_{4L}}{V_t}}$$

$$x_{1R} = I_s e^{\frac{v_{1R}}{V_t}}, \quad x_{2R} = I_s e^{\frac{v_{2R}}{V_t}}, \quad x_{3R} = I_s e^{\frac{v_{3R}}{V_t}}$$

$$x_{4R} = I_s e^{\frac{v_{4R}}{V_t}} \\ u_L = I_s e^{\frac{v_{0L}}{V_t}} \quad u_R = I_s e^{\frac{v_{0R}}{V_t}} \quad (23)$$

I_s saturasyon akımı, V_t ise termal gerilimdir. Denklem (14),(15) ve (16) da, eşitliğin iki tarafı $\frac{CV_t}{V_{1L}}$ ile çarpılırsa;

$$C\dot{V}_{1L} = \omega_0 CV_t e^{(V_{2L}-V_{1L})/V_t} - \frac{\omega_0}{I_{f1}} CV_T I_s e^{\frac{V_{1R}}{V_t}} \quad (24)$$

$$C\dot{V}_{2L} = \omega_0 CV_t e^{(V_{3L}-V_{2L})/V_t} - \frac{\omega_0}{I_{f1}} CV_T I_s e^{\frac{V_{2R}}{V_t}} \quad (25)$$

$$C\dot{V}_{3L} = \omega_0 CV_t e^{(V_{4L}-V_{3L})/V_t} - \frac{\omega_0}{I_f} CV_T I_s e^{\frac{V_{3R}}{V_t}} \quad (26)$$

$$CV_{4L} = b_0 \omega_0 CV_t e^{(V_{1L}-V_{4L})/V_t} + b_1 \omega_0 CV_t e^{(V_{2R}-V_{4L})/V_t} + b_2 \omega_0 CV_t e^{(V_{3R}-V_{4L})/V_t} - b_3 \omega_0 CV_t + a_0 \omega_0 CV_t e^{(V_{0L}-V_{4L})/V_t} -$$

$$\frac{\omega_0}{I_{f1}} CV_T I_s e^{\frac{v_{4R}}{V_t}} \quad (27)$$

$$y_R = I_s e^{\frac{v_{1R}}{V_t}} \quad (28)$$

$I_{f1}, I_{f2}, I_{f3}, I_{f4}, I_{f5}, I_{f6}$ sabit akım değerleri aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$I_{f1} = \omega_0 CV_t \quad (29)$$

$$I_{f2} = b_0 \omega_0 CV_t \quad (30)$$

$$I_{f3} = b_1 \omega_0 CV_t \quad (31)$$

$$I_{f4} = b_2 \omega_0 C V_t \quad (32)$$

$$I_{f5} = b_3 \omega_0 C V_t \quad (33)$$

$$I_{f6} = a_0 \omega_0 C V_t \quad (34)$$

Sabit akım değerleri üstel olarak sırasıyla şu şekilde tanımlanabilir ;

$$I_s e^{\frac{V_{f1}}{V_t}}, I_s e^{\frac{V_{f2}}{V_t}}, I_s e^{\frac{V_{f3}}{V_t}}, I_s e^{\frac{V_{f4}}{V_t}}, I_s e^{\frac{V_{f5}}{V_t}}$$

$$I_s e^{\frac{V_{f6}}{V_t}}$$

Sol taraftaki denklemler aşağıdaki bağıntılara dönüşür.

$$C\dot{V}_{1L} = I_s e^{(V_{2L}+V_{f1}-V_{1L})/V_t} - I_s e^{\frac{v_{1R}}{V_t}} \quad (35)$$

$$C\dot{V}_{2L} = I_s e^{(V_{3L}+V_{f1}-V_{2L})/V_t} - I_s e^{\frac{v_{1R}}{V_t}} \quad (36)$$

$$C\dot{V}_{3L} = I_s e^{(V_{4L}+V_{f1}-V_{3L})/V_t} - I_s e^{\frac{v_{1R}}{V_t}} \quad (37)$$

$$C\dot{V}_{4L} = I_s e^{(V_{1R}+V_{f2}-V_{4L})/V_t} + I_s e^{(V_{2R}+V_{f3}-V_{4L})/V_t} + I_s e^{(V_{3R}+V_{f4}-V_{4L})/V_t} - I_{f5} + I_s e^{(V_{0L}+V_{f6}-V_{4L})/V_t} - I_s e^{\frac{v_{4R}}{V_t}} \quad (38)$$

Sol taraf çıkış bağıntısı :

$$y_L = I_s e^{\frac{v_{1L}}{V_t}} \quad (39)$$

Denklem (38)'in sol tarafındaki terim bir kondansatörün akımını, sağ tarafındaki terimler de sabit bir akım kaynağı ile transistörlerin kollektör akımlarını tanımlar. Aynı yöntemle sağ taraftaki denklemler de elde edilebilir;

$$C\dot{V}_{1R} = I_s e^{(V_{2R}+V_{f1}-V_{1R})/V_t} - I_s e^{\frac{v_{1L}}{V_t}} \quad (40)$$

$$C\dot{V}_{2R} = I_s e^{(V_{3R}+V_{f1}-V_{2R})/V_t} - I_s e^{\frac{v_{1L}}{V_t}} \quad (41)$$

$$C\dot{V}_{3R} = I_s e^{(V_{4R}+V_{f1}-V_{3R})/V_t} - I_s e^{\frac{v_{1L}}{V_t}} \quad (42)$$

$$C\dot{V}_{4R} = I_s e^{(V_{1L}+V_{f2}-V_{4R})/V_t} + I_s e^{(V_{2L}+V_{f3}-V_{4R})/V_t} + I_s e^{(V_{3L}+V_{f4}-V_{4R})/V_t} - I_{f5} + I_s e^{(V_{0L}+V_{f6}-V_{4R})/V_t} - I_s e^{\frac{v_{4L}}{V_t}} \quad (43)$$

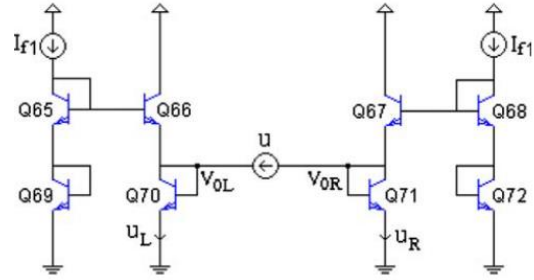
Sağ taraf çıkış bağıntısı :

$$y_R = I_s e^{\frac{v_{1R}}{V_t}} \quad (44)$$

(35),(36),(37), (38), (39),(40),(41),(42),(43) ve (44) bağıntılarını kullanarak, fark alıcı AB sınıfı dördüncü derece

alçak geçiren Chebyshev filtre devresini Şekil- 7'de görüldüğü gibi tasarlamak mümkündür.

Giriş akımını sol ve sağ akımlara ayırmak için akım ayırıcısı devresi kullanılmıştır. Akım ayırıcısı u_L ve u_R 'yi üretmektedir . Şekil 3'de akım ayırıcı gösterilmektedir.[14]



Şekil 3. Akım Ayırıcı Devre

Benzetim Sonuçları

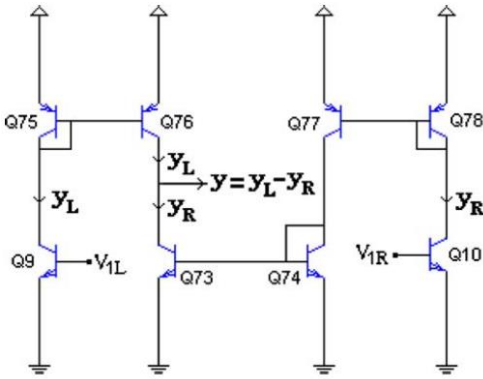
Tasarımı yapılan devrenin benzetimi hem ideal

Bf =10000, hem de AT&T CBIC-U2 transistörleri kullanılarak PSPICE programı yardımıyla yapılmıştır. Chebyshev yaklaşımı için pay ve payda katsayıları kullanılarak benzetim için değerler sırası ile şu şekilde hesaplanmıştır.; K=1, $V_{cc}=2.5V$, $V_t=25.6mV$, $I_{f1}=400uA$, $I_{f2}=110uA$, $I_{f3}=296uA$, $I_{f4}=581.2uA$, $I_{f5}=380uA$, $I_{f6}=110uA$, $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C_6 = 50pF$, merkez kesim frekansı $f_0=50MHz$ 'dir.Şekil-7'te, gerçekleştirilen süzgecin farklı frekanslardaki kazancı Şekil-8' de görülmektedir. Şekil-5 ve Şekil-6'te ideal ve gerçek transistör kullanılarak kazanç ve faz cevapları görülmektedir. Tablo 1'deki katsayılar kullanılarak (0.1db için) Tablo 3'deki akım değerleri hesaplanmıştır. Önerilen alçak geçiren Chebyshev süzgecin farklı parametre toleransları altında cevabı Şekil-9'da sunulmuştur. Monte Carlo,süzgecin parametre toleransları analizi,PSPICE programı kullanılarak yapılır.

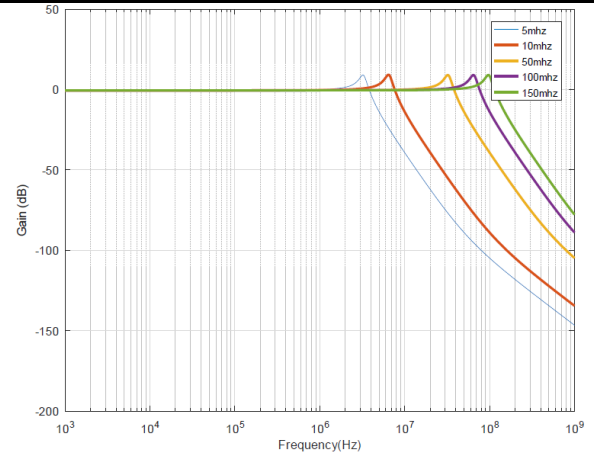
Tablo 2. AT&T CBIC-U2 Kullanılan transistör Modeli

.MODEL QOUTN1 NPN			
+ IS =2.636E-16 BF =3.239E+02 NF =1.000E+00 VAF=8.457E+01			
+ IKF=3.060E-02 ISE=3.674E-17 NE =1.197E+00 BR =3.868E+01			
+ NR =1.000E+00 VAR=1.696E+00 IKR=4.928E-02 ISC=2.045E-19			
+ NC =1.700E+00 RB =5.467E+01 IRB=0.000E+00 RBM=1.212E+01			
+ RE =4.515E-01 RC =1.999E+01 CJE=1.974E-13 VJE=7.973E-01			
+ MJE=4.950E-01 TF =1.901E-11 XTF=1.873E+01 VTF=2.825E+00			
+ ITF=7.403E-02 CJC=1.883E-13 VJC=8.046E-01 MJC=4.931E-01			
+ XCJC=1.57E-01 TR =5.184E-10 CJS=3.540E-13 VJS=5.723E-01			
+ MJS=4.105E-01 FC =9.765E-01			
.MODEL QOUTP2 PNP			
+ IS =1.147E-15 BF =7.165E+01 NF =1.000E+00 VAF=3.439E+01			
+ IKF=1.678E-01 ISE=5.690E-15 NE =1.366E+00 BR =1.961E+01			
+ NR =1.000E+00 VAR=1.805E+00 IKR=1.178E+00 ISC=3.188E-17			
+ NC =1.634E+00 RB =5.323E+01 IRB=0.000E+00 RBM=5.079E+01			
+ RE =1.069E+01 RC =3.177E+00 CJE=1.416E-12 VJE=7.975E-01			
+ MJE=5.000E-01 TF =3.042E-11 XTF=5.386E+00 VTF=2.713E+00			
+ ITF=4.534E-01 CJC=1.918E-12 VJC=7.130E-01 MJC=4.200E-01			
+ XCJC=1.76E-01 TR =1.973E-09 CJS=3.054E-12 VJS=6.691E-01			
+ MJS=3.950E-01 FC =8.803E-01			

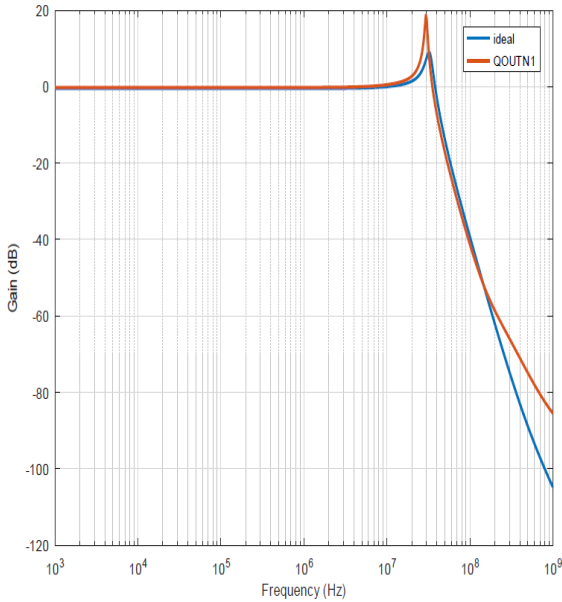
Devrenin çıkışındaki akımların farklarını alabileceğimiz devreyi Şekil 4'te görmemiz mümkündür.



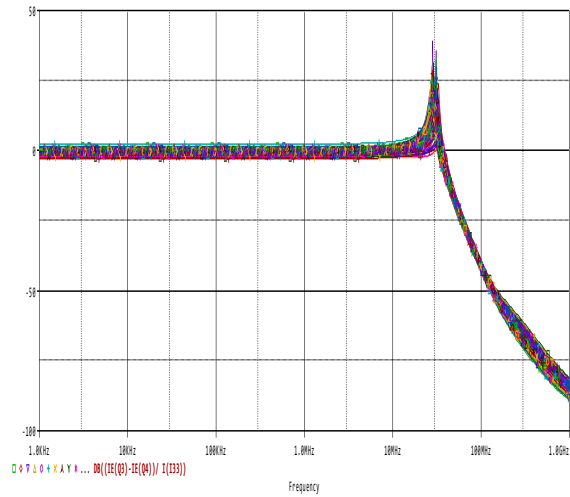
Şekil 4. Fark alıcı devre



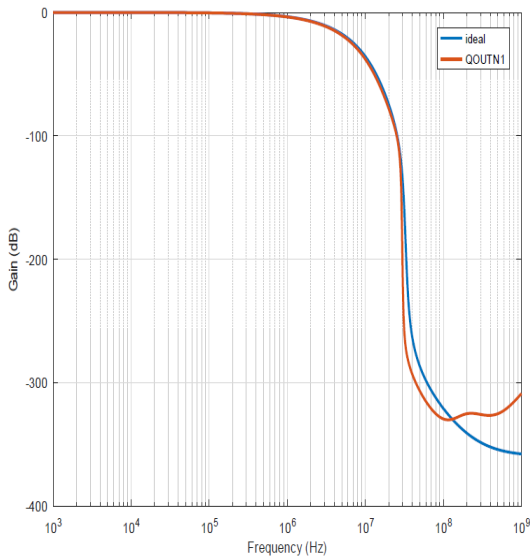
Şekil 7. Alçak geçiren süzgecin farklı frekanslarda kazanç frekans Cevabı



Şekil 5. Tasarlanan süzgecin kazanç frekans Cevabı



Şekil 8. Tasarlanan Süzgecin Monte Carlo Analizi



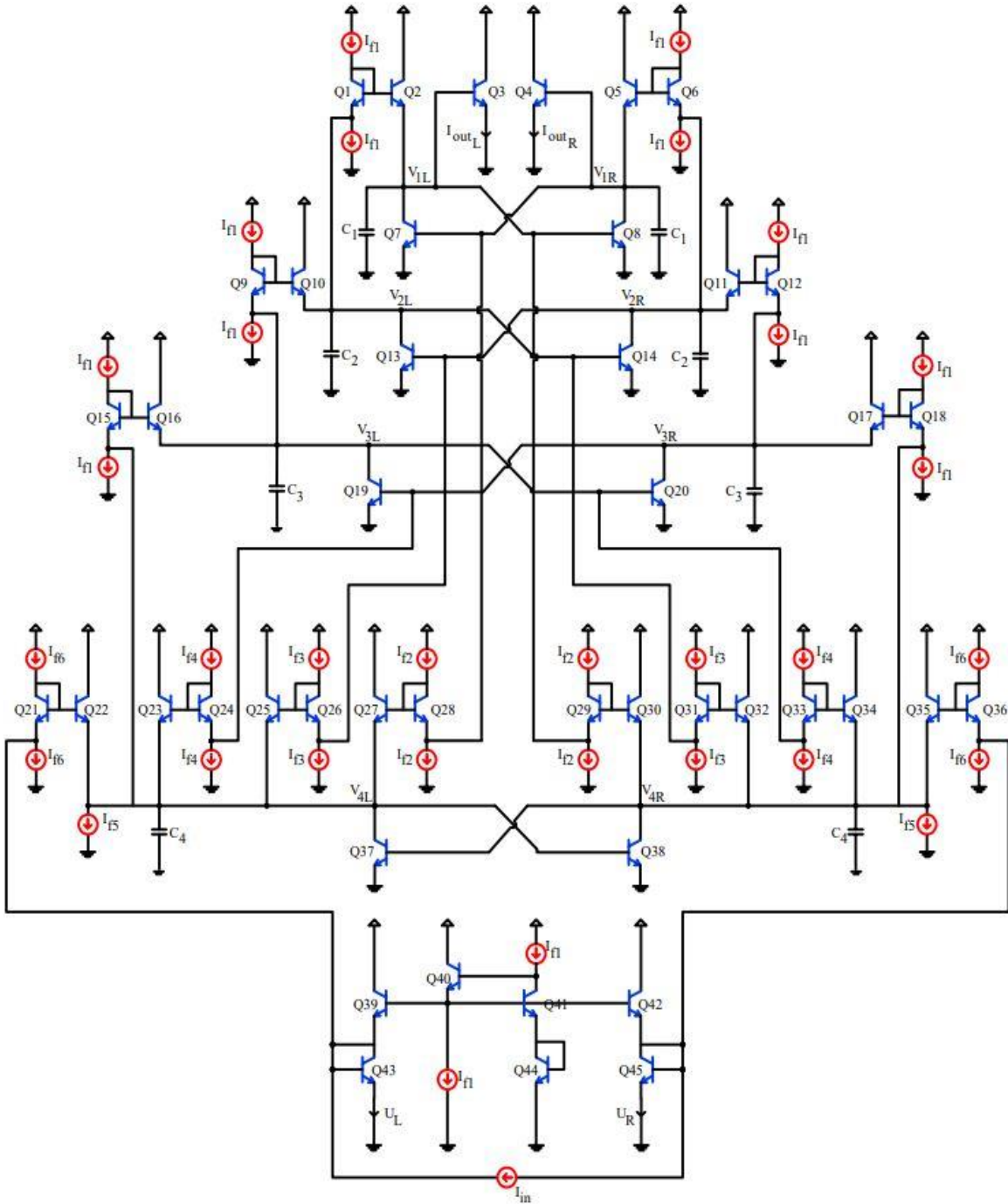
Şekil 6. Tasarlanan süzgecin faz frekans Cevabı

Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada dördüncü derece fark alıcı AB sınıfı Chebyshev logaritmik ortam süzgeci tasarlanmıştır. Farklı kazanç değerleri için Chebyshev süzgeç yaklaşımları akım değerlerinin değiştirilmesiyle elde edilmiştir. 2.5V gibi düşük bir besleme gerilimi kullanılarak PSPICE benzetimi ile doğrulanmıştır. Akım kaynakları değiştirilerek süzgecin kesim frekansı ve kalite faktörü ayarlanabilmektedir. Önerilen devrenin düşük güç tüketimi, düşük gürültü yüksek frekans uygulamalarında kullanılabilmesi, elektronik olarak ayarlanabilmesi ve Chebyshev filtrenin sağladığı kolaylıklar nedeniyle analog işaret işleme uygulamalarında yeni açılımlar sağlayacağı öngörülmektedir.

Tablo 3. 4. Derece Alçak Geçiren Chebyshev Filtre Akım Değerleri

Filtre Çeşidi	f_0	K	I_{f1}	I_{f2}	I_{f3}	I_{f4}	I_{f5}	I_{f6}	C
0.1dB Chebyshev	50Mhz	1	400uA	329uA	811uA	1053uA	723uA	329uA	50pF
0.5dB Chebyshev	50Mhz	1	400uA	151uA	410uA	684uA	478uA	151uA	50pF
1dB Chebyshev	50Mhz	1	400uA	110uA	296uA	581uA	380uA	110uA	50pF
2dB Chebyshev	50Mhz	1	400uA	82uA	206uA	502uA	286uA	82uA	50pF
3dB Chebyshev	50Mhz	1	400uA	70uA	161uA	467uA	232uA	70uA	50pF



Şekil 9. Dördüncü Derece Fark Alıcı AB-Sınıfı Logaritmik Ortam Chebyshev Alçak Geçiren Süzgeç

Kaynakça

- [1] R. W. Adams, "Filtering in the log-domain", Presented at 63rd AES Conference, New York, May 1979.
- [2] Frey, D. R.; Tola, A. T., "A state-space formulation for externally linear class-AB dynamical circuits." *IEEE TCAS II*, Vol.:46, Issue:3 Pages:306-314, 1999 .
- [3] Kircay, A., 2007 "New Possibilities for the Design of Class-A and Differential Class-AB Log-Domain Filters Using State- Space Synthesis Method" Dokuz Eylul University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Doctor of Philosophy, Izmir.
- [4] E. Seevinck, "Companding current-mode integrator: A new circuit principle for continuous-time monolithic filters" *Electronics Letters*, Vol.26, No.24, pp.2064- 2065, 1990.
- [5] D. R. Frey, "Log-domain filtering: an approach to current-mode filtering." *IEE Proc.-G, Circuits Syst. Devices*, Vol.140, No.6, pp.406-416, Dec.1993.
- [6] Kircay, A., and Cam, U., 2008. "Differential Type Class-AB Second-Order Log- Domain Notch Filter" *IEEE Transactions on circuits and Systems-I*, 55(5): 1203-1212.
- [7] Kircay, A. ; Keselioğlu M. S. ; Adalar F. Z. , "Electronically Tunable Current-Mode Third-Order Square-Root-Domain Filter Design" *Journal of Circuits, Systems, and Computers* Vol. 27, No. 9 (2018) 1850136
- [8] Kardoulaki, E. 2011 "Cmos Hyperbolic Sine Eln Filters For Low/Audio Frequency Biomedical Applications" Imperial Collage London, Department of Bioengineering, , Doctor of Philosophy, London.
- [9] Xu z., El-Masry E.I., "Synthesis Of Log-Domain Filter With Well-Defined Operating Point" *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, May 2004 .
- [10] Leung V. W., Roberts G. W. " Effects of Transistor Nonidealities on High-Order Log-Domain Ladder Filter Frequency Responses " *IEEE Transactions On Circuit And Systems—II: Analog And Digital Signal Processing*, Vol. 47, No. 5, May 2000
- [11] Punzenberger M. , Enz C. C. "A 1.2-V Low-Power BiCMOS Class AB Log-Domain Filter " *IEEE Journal Of Solid-State Circuits*, Vol. 32, No. 12, December 1997
- [12] Prommee P, Thongdit P, Angkeaw K., "Log-domain High-order Low-pass and Band-pass filters" *International Journal of Electronics and Communications* 79:234-242, June 2017.
- [13] Perry D, and Roberts G. W.. " Log-domain filters based on LC ladder synthesis" *Proceedings of ISCAS'95 - International Symposium on Circuits and Systems* , August 2002.
- [14]. Frey, D. R. (1994). Current mode class-AB second order filter. *Electronics Letters*, 30, 205–206..



Müşteri şikâyet yönetiminde firmaların performanslarının değerlendirilmesi: Kümeleme analizi incelemesi

Evaluation of firms' performances in customer complaint management: A cluster analysis examination

Gamze Ödev^{1*}, Serhat Peker²

¹ CarrefourSA Genel Müdürlük, Tedarik Zinciri, E-Ticaret ve Pazarlama GM, Müşteri Analitiği Birimi, gamzeodev@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0608-800X>

² İzmir Bakırçay Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, serhat.peker@bakircay.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6876-3982>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 4 Haziran 2022
Revizyon 3 Temmuz 2022
Kabul 6 Temmuz 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

Veri madenciliği,
Kümeleme analizi,
Veri yönetimi,
İş zekası ve analitiği,
Karar destek sistemleri

ÖZ

Müşteri memnuniyetinde, hizmet ve ürünün kalitesi kadar müşteri şikayetlerinin dikkate alınması ve etkili bir şekilde yönetilmesi de oldukça önemli rol oynar. Günümüzde online ortamlarda şikayet daha fazla tercih edilmektedir. Bu çalışmanın amacı, kümeleme analizini kullanarak internet ortamında firmaların aldığı müşteri şikayetlerini ve bunları yönetim performanslarını değerlendirmektir. Bu amaca yönelik Sikayetvar.com internet sitesinden elde edilen veriler, CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining; Çapraz Endüstri Veri Madenciliği Standart Süreci) adımları baz alınarak iki aşamalı kümeleme analizi yöntemiyle analiz edilmiş ve elde edilen firma kümeleri profillenmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar sektör bazlı olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada önerilen yaklaşım ile firmalar şikayet yönetim performanslarını tespit edebilecek, diğer firmalar içindeki yerini görebilecek ve bu bağlamda başarılı firma profillerini baz alarak kendilerini geliştirebileceklerdir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 4 June 2022
Received in revised form 3 July 2022
Accepted 6 July 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Data mining,
Cluster analysis,
Data management,
Business intelligence and analytics,
Decision support systems

ABSTRACT

Considering and effectively managing customer complaints play a very important role in customer satisfaction, as well as the quality of service and product. Nowadays, complaints are more preferred in online environments. The aim of this study is to evaluate the firms' customer complaints in the internet environment and their management performance using cluster analysis. For this purpose, the data obtained from Sikayetvar.com website was analyzed based on CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining) steps using two-stage cluster analysis method and the obtained firm clusters were profiled. In addition, the results were evaluated based on sectors. With the proposed approach in this study, companies will be able to determine their complaint management performance, see their positions among other companies and in this context, they will be able to improve themselves based on successful company profiles.

Doi: 10.24012/dumf.1126199

* Sorumlu Yazar

Giriş

Küreselleşme ile rekabetin artması, pazar payı ve bu duruma paralel, sunulan ürün ve hizmetin çeşitliliğini artırmıştır. Artan rekabet ortamına gelişmekte olan teknoloji kullanımının da eklenmesi, firmaların devamlılığını sürdürmesini zorlaştırabilmektedir. Günümüzün iş dünyasında artan rekabet gücü ile iyi müşteri ilişkileri kurmak çok önemli hale gelmiştir. Müşteri memnuniyeti ve müşteri sadakati, işletme karlılığına ve olumlu geribildirim alabilmek, uzun vadeli ve kapalı müşteri ilişkisini sürdürmek için önemli faktörlerdir [1]. Müşteri memnuniyetini artırmak ve müşteri sadakatini teşvik etmek için işletmelerin etkili müşteri ilişkileri yönetimi (CRM) stratejileri uygulaması gerekir. Bu amaçla, müşterileri dinlemek, onların şikayetlerini önemsemek ve bu şikayetlere geri bildirimde bulunmak, müşteri memnuniyetini etkileyen başlıca CRM bileşenleri arasındadır.

Müşteri şikâyeti, satın alınan ürün veya hizmet karşısında müşterinin beklentisinin karşılanmaması sonucunda oluşan hoşnutsuzluk durumudur. Başka bir deyişle, müşterilerin memnuniyetsizliklerine ilişkin olumsuz geri bildirimleridir. Müşteri şikayetleri birçok stratejik fırsat sağlar ve şirketler için müşteri ilişkilerini geliştirmede faydalıdır [2], [3]. Günümüz bilgi teknolojileri sayesinde müşteri şikayetlerine online olarak kolayca ulaşılabilen ve bu durum diğer potansiyel müşterilerin davranışlarını etkileyebilmektedir. Bu nedenle, düzenli müşterileri elde tutmak ve yenilerini çekmek için uygun araçlarla iyi bir şikâyet yönetimi stratejisi gereklidir [4].

Müşteri şikâyet yönetimi süreci, şikayetlerin alınması ve çözülmesi olmak üzere iki ana adımdan oluşmaktadır [5]. İnternetin ve ilişkili teknolojilerin hızlı büyümesi, firmaların web siteleri, çevrimiçi sohbet yazılımları, sosyal medya ve üçüncü parti internet platformları gibi yeni, esnek ve takip edilmesi kolay kanalları mümkün kılmıştır. Bu kanallardan üçüncü parti internet platformu, müşterilerin şikayetlerini işletmelere sanal ortamda iletebilmelerini, sorunlarına yönelik çözüm sunmalarına imkân tanımaktadır. Öte yandan bu tür platformlarda şikayetlerin olması işletmeler için kritik önem taşımaktadır. Çok sayıda şikâyete, olumsuz kulaktan kulağa iletişimin eşlik etmesi muhtemeldir ve bu tür durumlar şirketin itibarını zedelemektedir [6]. Bunun yanı sıra, geçmiş araştırmalar [7], [8], olumsuz yorumların, müşterileri olumlu olanlardan daha çok etkilediğini ortaya koymuşlardır. Müşterilerin ayrıca satın alma kararlarında olumsuz bilgilere daha fazla rağbet ettikleri görülmüştür [9]. Bu gibi sorunları önlemek veya azaltmak için müşteri şikâyet yönetimi şirketler için stratejik bir öneme sahiptir. Bu doğrultuda, şirketlerin müşteri şikayetlerinin nedenlerine odaklanmaları ve bu sorunlara çözüm önerileri sunmaları gerekmektedir.

Günümüzde dijitalleşme ile birlikte firmalar gerek müşterileri gerekse de operasyonları üzerine ciddi miktarda veriye sahiptir ve bu veri hacmi gün geçtikçe artmaya da devam etmektedir. Bu verilerin işlenerek faydalı bilgilerin çıkarılması şirketler için büyük önem taşımaktadır. Veri madenciliği teknikleri, büyük miktarda veriden bilgi çıkarmak için etkili olup, bu tekniklerin uygulanması, rekabetçi CRM stratejilerinin geliştirilmesi için oldukça

değerlidir [10]. Kümeleme analizi, CRM odağında, portföy analizi veya müşteri profili oluşturma [11]–[14] ve müşteri yaşam boyu değeri (CLV) [15]–[17] gibi amaçlar için yaygın olarak kullanılan veri madenciliği tekniklerinin başında gelmektedir. Müşteri ilişkileri yönetiminde farklı amaçlar için veri madenciliği kullanılırken, bu alandaki önemli derleme araştırmalarından biri [10], şikâyet yönetiminde veri madenciliği tekniklerinin uygulanmasının yetersiz olduğunu ve bu konuda daha fazla araştırma yapılmasının gerekliliğini vurgulamıştır.

Bu çalışma, çeşitli sektörlerde faaliyet gösteren firmaları şikâyet alma düzeyleri ve bu şikayetleri yönetme performanslarına göre profillemeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, firma profillerini oluşturmak için firmalara ilişkin yapılan şikâyet sayıları, bu şikayetlerin firmalar tarafından yanıtlanma sayıları, ortalama yanıtlanma süreleri ve çözülen şikayetlerin sayısı gibi niteliklerden yararlanılmıştır. Firmaların anlamlı gruplara ayrılmasında, CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining; Çapraz Endüstri Veri Madenciliği Standart Süreci) adımları baz alınmış, hiyerarşik kümeleme tekniklerinden “Ward’ın Yöntemi” ve hiyerarşik olmayan kümeleme tekniklerinden “k Ortalamalar” tekniklerini bir arada kullanan iki aşamalı kümeleme analizi yönteminden faydalanılmıştır. Önerilen bu yaklaşım, Türkiye’de en bilinen üçüncü parti şikâyet platformu olan Sikayetvar.com internet sitesinde kaydı olan firmalar üzerinde bir vaka çalışması olarak uygulanmıştır.

İncelememiz doğrultusunda literatürde daha önce firmaların dijital platformlardaki şikâyet ve şikayetlerini yönetme performanslarına ilişkin benzer herhangi bir çalışma olmamasından ötürü, araştırmamız bu anlamda özgün olup literatürün gelişmesine katkı sağlayacaktır. Bu araştırma sayesinde, firmaların şikâyet alma ve yönetim profilleri çıkarılabilecek, hangi profillerin birbirine yakın veya farklı performansı olduğu tespit edilebilecektir. Elde edilen sonuçlarda firmalar, tüm firmalar içinde kendi pozisyonları görebilecek, bu anlamda hangi profile uygun olduklarını kavrayabilecekler ve bu doğrultuda müşteri ilişkileri stratejilerini daha etkin yönetebileceklerdir. Çalışmamızın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2’de ilgili literatür taraması bulunmaktadır. Bölüm 3 araştırma metodolojisini içermektedir. Bölüm 4, deneysel sonuçlar ve bulgularla birlikte bir vaka çalışması sunar iken, Bölüm 5 çalışmanın bulgularını özetlemekte ve gelecekteki araştırmalar için öneriler sunmaktadır.

Literatür taraması

Elektronik ortamda müşteri şikayetleri

Teknolojideki gelişim ve dönüşüm ile internet sosyal iletişimde de aktif rol oynamaktadır. Bu gelişim doğrultusunda alışılmış şikâyet seçeneklerine ek olarak daha hızlı ve etkili sonuç alınacak ortamlar gelişmiştir. Tüketiciler şikayetlerini internet ortamında iletebilmekte ve e-şikâyet kavramı da bu şekilde oluşmuştur. İnternet ile kişi satın aldığı ürün ve hizmet şikayetini satıcı ile yüz yüze gelmeden paylaşabilmektedir. Türkiye’de İnternet kullanım oranı 2021 yılında %82,6 olmuştur. Hane Halkı bilişim teknolojileri

kullanım araştırması sonuçlarına göre 2021 yılında hanelerin %92,0'nin evden İnternete erişim imkanına sahip olduğu gözlenmiştir [18]. İnternet kullanımındaki bu artış, interneti tüketici şikâyet davranışları içinde oldukça değerli bir kanal haline getirirken, elektronik ortamda müşteri şikâyetlerinde büyük artış gözlenmekte ve gelecekte de bu artışın daha hızlı bir şekilde devam edeceği öngörülmektedir [19].

Elektronik ortamda iletişimi ise e-WOM (elektronik ağızdan ağıza iletişim) olarak tanımlanmaktadır. Müşteriler daha az çaba ile şikâyetini iletme hem de hızlı bir şekilde kamuoyuna ulaşması sebebi ile e-şikâyet kanalını tercih etmektedirler. İnternet üzerinden hizmet veren paylaşım platformları ile firmalar müşteri şikâyetleri hakkında bilgi sahibi olmakta ve cevap verebilmektedir. İnternet ortamında maliyetsiz bir şekilde müşterilere cevap verebilmekte ve sorunları düzeltebilmektedirler. Şikâyetlerin paylaşıldığı platformlar herhangi bir kâr amacı gütmeyen kişiler tarafından veya resmî kurumlar tarafından kurulabilmektedir. Sikayetvar.com bu platformlara örnek olabilecek sitelerden biridir. 2001 yılında kurulan bu internet sitesinde, insanlar satın aldıkları ürün veya hizmetler hakkındaki şikâyetlerini çevrimiçi olarak firma ve şirketlere iletebilmektedirler. Şikâyetler yayınlanmadan önce incelemeyen geçirilmektedir. Şikâyetlerin yayınlanmasında aracılık eden üçüncü parti platformların en iyi örneği olup günlük 9.000' e yakın şikâyetin yazıldığı bir sitedir. Firmalar sınıflandırılarak şikâyet edilen firmanın ismi, şikâyet sayısı, cevaplanan şikâyet sayısı gibi verileri içermektedir. Şirketler ise bu şikâyetlere yanıt verebilmekte gerekli durumda iletişim bilgileri olan kullanıcılara ulaşabilmektedir.

Veri tabanlarından bilgi keşfi ve çapraz endüstri veri madenciliği standart süreci

Knowledge Discovery in Databases (KDD) olarak bilinen Veri Tabanlarında Bilgi Keşfi (VTBK), veriden faydalı bilgilerin çıkarılması, keşfedilmesi olarak tanımlanmaktadır [20]. VTBK sürecinde asıl amaç, geniş çapta veri içeren veri tabanlarından, örtük halde bulunan anlamlı bilgiler çıkarmaktır. Artan veri yoğunluğu ile birlikte, sahip oldukları işlem verilerindeki gizli değerleri ortaya çıkarmada, VTBK süreci işletmeler için son derece önem arz etmektedir [21]. VTBK sürecinin en temel bileşeni, bilginin verilerden çıkarıldığı ve daha sonra kullanılmak üzere insan tarafından anlaşılabilir bir forma dönüştürüldüğü veri madenciliği tekniklerinin uygulanmasıdır [22].

Gelişen teknoloji ve veri tabanı sistemleri ile e ticaret, perakende, bankacılık, sağlık gibi pek çok farklı sektörde veri madenciliği teknikleri yaygın olarak kullanılmakta ve kullanım alanları da hızla artmaya devam etmektedir. Literatürde, veri analitiği ve madenciliği projelerinin planlanıp, yürütülmesi için çeşitli yöntemler olmakla birlikte, Çapraz Endüstri Standart Süreci (CRISP-DM), bu anlamda en uygun ve kapsamlı yol gösterici metodoloji olarak kabul edilmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır [23], [24]. 1999'da ilk versiyonu tanıtılan bu yaklaşım, şu altı ardışık ana aşamadan oluşmaktadır: işin anlaşılması, verinin anlaşılması, verinin hazırlanması, modelleme, değerlendirme ve konuşlandırma [25].

Kümeleme analizi

Kümeleme analizi benzer özellikleri paylaşan veri nesnelerini bir araya getirerek kendi içinde homojen ve anlamlı gruplar oluşturmayı amaçlar [26]. Bu yöntem, büyük veri tabanlarından faydalı bilgileri çıkarmak için en çok uygulanan veri madenciliği tekniklerinden birisidir. Literatürde kullanılan birçok kümeleme tekniği vardır ve bunlar hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan kümeleme olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılabilir [27].

Hiyerarşik kümeleme algoritmaları, mevcut verilerin birbirleri ile olan uzaklıklarının tespit edilmesi ve bu bilgi ile mevcut verilerin birleştirilmesi ya da bölünmesi şeklinde çalışırlar. Birbirleri ile olan mesafeleri açısından belirli eşik değerine yakın olanlar 'benzer', uzak olanlar ise 'benzemeyen' olarak kabul edilmektedir. Hiyerarşik kümeleme algoritmaları, iç içe kümeleri bulur ve nesnelerin farklı kümeler halinde düzenlenmesini gösteren bir dendrogram (ağaç diyagramı) verir. Ward metodu, literatürde en çok tercih edilen hiyerarşik kümeleme algoritmalarından biridir [28].

Hiyerarşik kümelemeden farklı olarak, hiyerarşik olmayan kümelemede, başlangıçta tüm veri noktaları tek bir küme oluşturur, daha sonra bu küme, her kümede bir veri noktası kalana kadar art arda kümelere bölünür. Bu kategorideki algoritmalar, veri setini seçilen kriterini optimize edecek şekilde k tane kümeye ayırır. K-ortalama algoritması hızlı ve kolayca uygulanabileceği için en popüler ve yaygın olarak kullanılan hiyerarşik olmayan gruba ait kümeleme tekniklerinden biridir [29]. Hiyerarşik olmayan kümelemede en önemli kısıt ve dikkat edilmesi gereken hususlardan biri küme sayısının (k) algoritma çalıştırılmadan önce tespit edilmesi gerekliliğidir.

Hiyerarşik olmayan kümelemede metodlarında, küme sayısını (k) belirleme kısıtından dolayı iki aşamalı kümeleme analizi (two-stage clustering) önerilmiştir [28]. Bu hibrit yaklaşımda, ilk olarak Ward metodu ya da SOM ağları uygulanır ve bu yaklaşımların görsel çıktıları ile ihtiyaç duyulan k değeri belirlenir. Ardından verileri k gruba ayırmak için K-ortalama kümeleme yöntemi uygulanır.

Müşteri şikâyetleri analizinde veri madenciliği uygulamaları

Veri madenciliği teknikleri, firmalar için müşteri şikâyetlerini yönetmede önemli faydalar sunmaktadır. Özellikle, son yıllarda veri madenciliği ve makine öğrenmesi yaklaşımları, müşteri şikâyet analizinde yaygın olarak kullanılmıştır. Bu bağlamda, Hsiao vd. [30] karar ağacı modellerini kullanarak müşteri şikâyetlerini toplu bir şekilde karakterize etmiştir. Chugani vd. [31] tarafından yapılan çalışmada müşteri şikâyetleri üzerine iki farklı yaklaşım izlenmiştir. Birinci çözümde aynı hizmet veya ürünle ilgili benzer şikâyetleri bulmak adına k-ortalama ve hiyerarşik kümeleme algoritmaları kullanılarak kümeleme analizi uygulanmıştır. Diğer yaklaşımda, ülkenin belirli bölgelerindeki şikâyetler hakkında tahmin yapmaya yönelik çoklu doğrusal regresyon kullanılmıştır.

Ghazzawi ve Alharbi [32] tarafından yapılan çalışmada şikâyet kayıtları, naive bayes, KNN, rastgele orman ağaçları ve karar ağacı (ID3) gibi bir dizi makine öğrenmesi yöntemleri yordamıyla acentelere göre sınıflandırılmıştır. Yeni yapılan çalışmalardan birinde [33], farklı karar ağacı modelleri (C&R, QUEST, CHAID, C5.0) kullanılarak farklı otel sınıflarından misafirlerin çevrimiçi şikâyet davranışları ile şikâyet özellikleri arasında var olabilecek olası ilişki araştırılmıştır. Görüldüğü üzere yakın literatürde, müşteri şikâyetlerini incelemek amaçlı çok çeşitli veri madenciliği teknikleri kullanılmış olmasına rağmen, firmaların şikâyet yönetimindeki performanslarını inceleyen bir araştırma bulunmaktadır. Bu çalışma, firmaların şikâyet yönetimindeki performanslarını analiz etmek için bir yaklaşım önererek literatürdeki bu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

Araştırma metodolojisi

Bu çalışmada, Çapraz Endüstri Veri Madenciliği Standart Sürecindeki (CRISP-DM) ilk beş aşama sırasıyla uygulanmıştır. Şirketleri, müşteri şikâyetleri ve yönetimi açısından karakterize etmek için firmaların şikâyet sayıları, yanıtladıkları şikâyetler, ortalama yanıtlama hızları ve çözülen şikâyetler gibi nitelikler baz alınarak denetimsiz öğrenme yöntemlerinden kümeleme analizi kullanılmıştır. Çapraz Endüstri Veri Madenciliği Standart Süreci (CRISP-DM) baz alınarak araştırma metodolojisi kapsamında gerçekleştirilen adımlar aşağıda detaylıca verilmiştir.

İşi kavrama

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ve anlık erişimin hızlanması ile firmalar için müşterilerin memnuniyet ve görüşleri giderek önem kazanmıştır. Kişiler istedikleri her an ürün ve hizmete ulaşabilmekte ve akabinde aldıkları ürün ve hizmet hakkındaki görüşlerini anlık paylaşabilmektedir. Söz konusu paylaşımların sosyal medyada da yer alması ve herkes tarafından görülebilir olması firmaların pazarlama ve sektörde tutunmaları açısından önem arz etmektedir. Müşterilerin şikâyetlerini belirtebilecekleri bir internet sitesi kurulmuş ve tüketiciler aldıkları ürün ve hizmetin olumsuz geri bildirimlerini bu sitede paylaşmaktadırlar. Tüketiciler bu yorumlara bakarak ihtiyaçlarını bu yorumlar doğrultusunda şekillendirmekte, şikâyet edilen firmalar ise yanıtlayarak müşterilerine çözüm sağlamaktadırlar. Zamanında dönüş yaparak ve çözüm önerileri sunarak şikâyetlerini etkin bir şekilde yöneten firmalar, müşteri memnuniyetini açısından da öne çıkmaktadırlar. Bu nedenlerle, müşteri şikâyetleri ve yönetimi firmalar için oldukça önem arz eden bir konudur.

Veriyi kavrama

Çalışmamızda Sikayetvar.com internet sitesi verileri kullanılmıştır. Her bir markanın şikâyet kartesi bulunmaktadır. Markaya ait Yayınlanan şikâyet sayısı, firma tarafından cevaplanan şikâyet sayısı, şikâyetlerin ortalama cevaplanma süresi gibi veriler bulunmaktadır. Ürün veya hizmetten yararlanıcı şikâyetlerinin sayısı, firmaların yanıtlamaları, yanıt hızı ve çözülen şikâyetlerin sayısı çalışmamızın en temel parametreleridir.

Kullandığımız değişkenlerin kısaltma ve tanımları Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. Model Değişkenlerinin Tanımı

(ŞYÇ) Modeli	(ŞYÇH) Modeli	Değişkenler	Tanımı
✓	✓	(S) Şikâyet Alma	Firmaların şikâyet sayısı
✓	✓	(Y) Yanıtlama	Firmaların şikâyetleri yanıtlama sayısı
✓	✓	(Ç) Çözüm Sağlama	Firma tarafından çözülen şikâyet sayısı
	✓	(H) Yanıtlama Hızı	Firmaların şikâyetleri yanıtlama hızı (sn.)

Çalışmamız kapsamında Tablo 1'de verilen iki model değişkenleri ayrı ayrı kullanılarak iki farklı kümeleme analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kümeleme analizi sonuçlarının yorumlanmasında, yanıtlama oranı ve çözüm sağlama oranı değişkenlerinden de faydalanılmıştır.

Veriyi hazırlama

CRISP-DM döngüsünün önemli adımlarından biri de Veri Hazırlama aşamasıdır. Bu aşamada hangi verilerin kullanılacağı, eksik veya gürültülü veri olup olmadığı, yeni bir değişken ihtiyacı olup olmadığına karar verilmektedir.

Günümüz standartlarına uyum sağlamak isteyen şirketler son trendlerden birisi olan robotik süreç otomasyonu uygulamalarını takiplerine almışlardır. Robotik Süreç Otomasyonu (robotic process automation, RPA) çalışanların tekrarlanabilir işlerini hızlı ve hatasız şekilde gerçekleştiren bir çeşit yazılımdır. Muhasebe, finans, insan kaynakları, sağlık hizmetleri vb. gibi birçok kullanım alanına sahiptir[34].

Analiz kapsamında RPA (Robotic Process Automation) Robotik Süreç Otomasyonu araçlarından biri olan Uipath Stüdyo kullanılmıştır. Uipath robotları süreçlerin çalıştırılmasını kontrol eden bir yazılımdır. Kullanıcı yazılım bilgisi ile iş akış süreçlerini tespit ederek ve ekran kaydı olarak verilerin toplanmasına ve akabinde işlenmesine imkân sağlamaktadır.

Tablo 1'de verilen kümeleme analizinde kullanılacak özelliklere ilişkin veriler, sikayetvar.com sitesinden Uipath Studio'da bulunan recording, web scraping, seç, sürükley bırak ve MS Excel'e kaydet kural seti ile çekilmiştir. Kümeleme analizi sonuçlarının yorumlanmasında kullanılan yanıtlanma oranı, yanıtlanan şikâyet sayısının şikâyet sayısına % oranı, çözüm sağlama oranı ise çözülen şikâyet sayısının şikâyet sayısına % oranı olarak her bir firma için manuel olarak hesaplanmıştır.

Kümeleme analizi

Bu çalışmada, sikayetvar.com internet sitesi verilerine iki aşamalı bir küme analizi yöntemi uygulanmıştır. Bu iki aşamalı analizde, k küme sayısını belirlemek için önce Ward'ın hiyerarşik yöntemi kullanılmış ve ardından verileri k gruba ayırmak için K-ortalama kümeleme yöntemi uygulanmıştır. Ward'ın yöntemi ile anlaşılabilir bir dendrogram oluşturulmuş ve bu dendrogram şeklinde, optimum küme sayısına karar verilmiştir. Ardından, müşterileri farklı kümelerine ayırmak için K-ortalama kümeleme algoritması kullanılmıştır[35].

Kümelerin yorumlanması ve karakterize edilmesi

Kümeleme analizleri sonucunda elde edilen her grup belirlenene kümeleme özelliklerine dayalı olarak karakterize edilmiş ve uygun grup profilleri çıkarılmıştır. Ek olarak firmaların sektör bilgileri ışığında elde edilen kümeleme sonuçları ile çapraz analiz yapılmıştır.

Örnek Vaka

Veri tasviri

Çalışmamızda Sikayetvar.com internet sitesi verileri kullanılmıştır. Bu sitede firmaların şikâyet karnesi bulunmaktadır. Bu sayfada, firmaya ait yayımlanan, cevaplanan ve çözüm üretilen şikâyetlere ilişkin sayısal

veriler bulunmaktadır. Buna göre 13.09.2021 tarihinde her bir firmaya ilişkin yayımlanan şikâyet sayısı, cevapladıkları şikâyet sayısı, şikâyetleri ortalama cevaplama süresi ve son bir yılda çözdüğü şikâyet sayısı değerleri çekilmiştir. Sonrasında, karnesinde 50 ve üzeri şikâyet bulunan 2710 adet firma analizlere dahil edilmiştir. ŞYÇH modelindeki değişkenler kullanılarak yapılan kümeleme analizinde, yanıtlama sayısı 0 olan 1465 firma analiz dışı tutulmuştur. Böylelikle, ŞYÇ modeli değişkenleri kullanılarak 2710 adet firma analiz edilirken, ŞYÇH modeli değişkenleri kullanıldığında analiz edilen firma sayısı 1245 adettir. Bu model değişkenlerinin maksimum, minimum ve ortalama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 2 ve Tablo 3'te ayrı ayrı sunulmuştur.

Tablo 2. ŞYÇ Modelinin Tanımlayıcı İstatistikleri

	Mak.	Min.	Ort.	Std. Sapma
Ş	109.065	50	875,20	4.322,04
Y	55.089	0	536,23	2.913,03
Ç	17.501	0	142,24	673,36

Tablo 3. ŞYÇH Modelinin Tanımlayıcı İstatistikleri

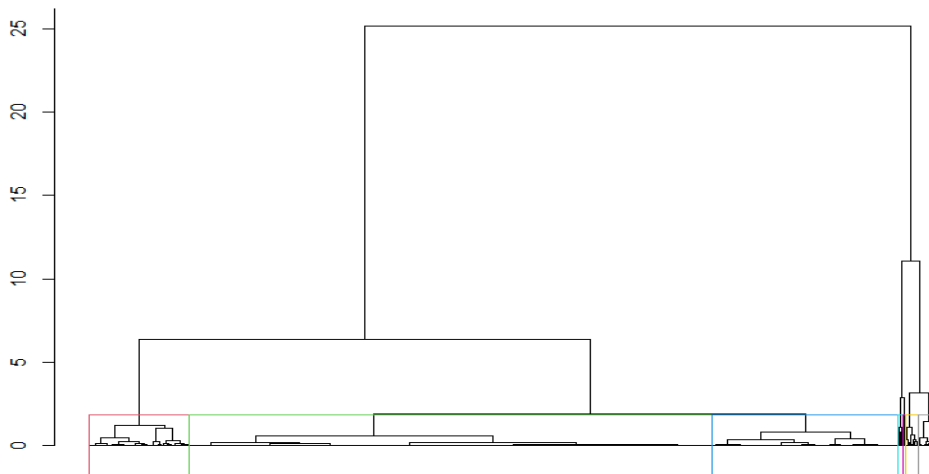
	Mak.	Min.	Ort.	Std. Sapma
Ş	109.065	50	1.356,11	5.496,65
Y	55.089	6	1.164,78	4.212,46
Ç	17.501	1	271,85	965,62
H	257.280	60	79.546,12	73.862,27

Kümeleme analizi

ŞYÇ modeli

ŞYÇ model değişkenleri kullanıldığında Ward algoritmasının ürettiği dendrogram Şekil 1'deki gibidir. Buna göre, en uygun küme sayısı (k) 7 olarak belirlenmiş ve k, 7 değeri için

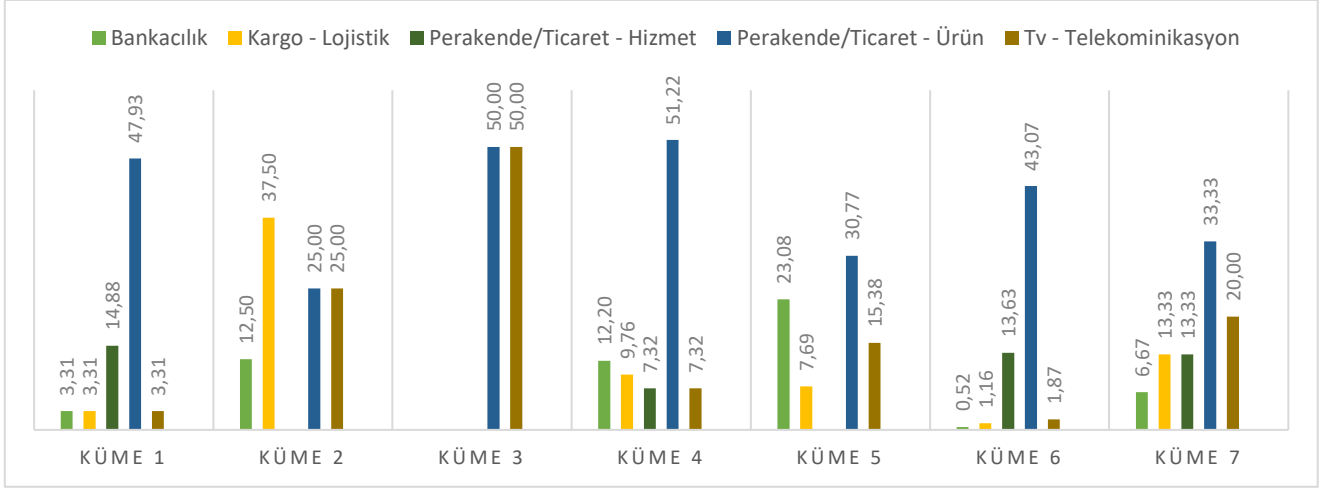
K-ortamalar algoritmasının küme bazlı sonuçları (her bir kümenin eleman sayısı ve ortalama değişken değerleri) Tablo 4'te detaylı olarak verilmiştir. Şekil 2'de ise elde edilen bu kümelerdeki firmaların sektörlere dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 1. ŞYÇ Modeli için üretilen Dendrogram

Tablo 4. ŞYÇ modeli kümelerinin değişken istatistikleri

Küme	Adet	Ş	Y	Ç	Yanıtlanma Oranı (%)	Çözülme Oranı (%)
1	121	2.439,72	2.094,19	515,69	91,47	24,25
2	8	44.764,00	41.505,88	8.183,88	94,3	19,16
3	2	101.602,50	9.145,00	5.715,00	8,38	5,49
4	41	9.034,37	8.402,56	1.934,98	94,4	24,9
5	13	20.816,92	19.237,46	3.938,46	94,36	20,71
6	2511	264,70	99,33	40,29	34,76	18,16
7	15	13.978,07	368,73	966,27	2,65	8,01
Ort.		875,20	536,06	142,20	38,44	18,49



Şekil 2. ŞYÇ modeli kümelerinin sektör dağılımları (%)

Tablo 4'e göre, küme 3'te sadece 2 firma olması ancak şikâyet sayısının 7 küme içerisinde en yüksek olması dikkat çekmektedir. Buna ilave olarak, bu grup, çok düşük düzeyde dönüş yapan (%8,38) ve çözüm üreten (%5,49) firmalardan oluşmaktadır. Bu kümede, Türkiye'nin alanlarında öncü olan Trendyol ve Türk Telekom şirketleri yer almaktadır.

Şikâyet sayısı açısından küme 3'ü, küme 2 takip etmektedir. Yüksek şikâyet sayısına rağmen, bu gruptaki firmalar, şikâyetlere yüksek seviyede yanıt dönmekte (%94,3) ve çözüm sağlamaktadır (%19,16). Şekil 2'ye baktığımızda, bu kümedeki firmaların sadece kargo/lojistik, perakende/ticaret-ürün, TV/telekomünikasyon ve bankacılık sektörlerine ait olduğu görülmektedir. Vodafone, Turkcell, Hepsiburada, Çiçeksepeti, Aras Kargo, Mng Kargo, Sürat Kargo ve Ziraat Bankası bu kümede konumlanan firmalardır.

Benzer şekilde, küme 5'teki firmalar, küme 2 ve küme 3'ten daha az sayıda şikâyet almış olsalar da genel değerlendirmede nispeten yüksek sayıda şikâyet alan firmalardır. Buna karşılık

aldıkları şikâyetlere, yüksek seviyede yanıt dönmekte (%94,36) ve çözüm üretmektedir (%20,71). Yurtiçi Kargo, Superonline, Akbank, Garanti BBVA, İş Bankası, Boyner, Samsung-Telefon, Arçelik bu grupta yer alan firmalardır.

Tablo 4'ü incelediğimizde en az sayıda şikâyet alan grubun, küme 6 olduğu görülmektedir ve bu küme 2511 adet ile en fazla sayıda firmayı içeren kümedir. Şekil 2'ye göre, bu grupta yer alan firmaların büyük çoğunluğu açık ara Perakende/Ticaret-Ürün sektöründe hizmet vermektedir. Şikâyetlerin yanıtlanması ve çözüme kavuşturulması açısından incelediğimizde ise en başarısız grup açık ara küme 7 olmuştur. PTT Kargo, Getir, Trendyol Express, A101, Bim, Türknet, D-smart, Yapı Kredi Bankası bu grupta yer alan firmalardır.

Tablo 4'te sunulan ŞYÇ modeli özellikleri verilerine göre, elde edilen kümelerin profilleri özet olarak Tablo 5'te sunulmuştur.

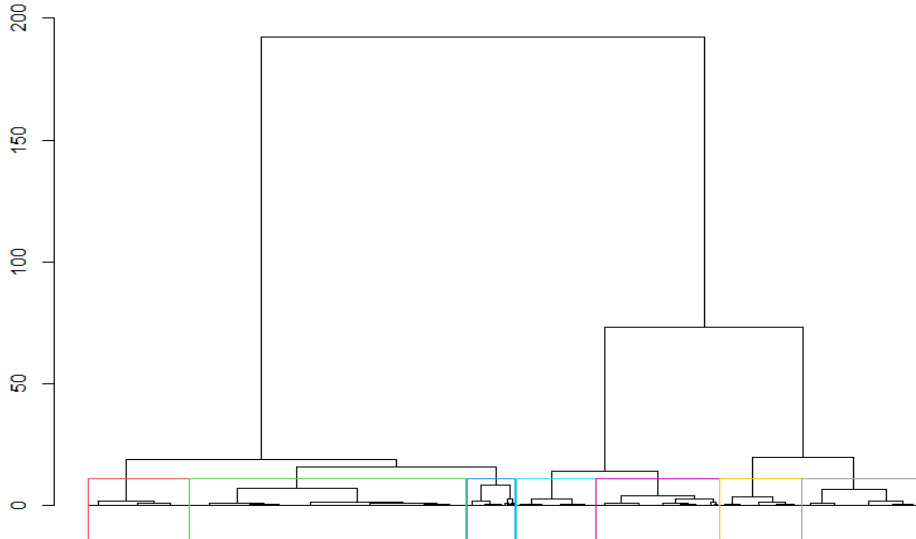
Tablo 5. ŞYÇ modeline göre küme profilleri

Küme	Profil
1	Az sayıda şikâyet alan, yüksek seviyede yanıt dönen ve çözüm üreten firmalar
2	Yüksek sayıda şikâyet alan, buna rağmen yüksek seviyede yanıt dönen ve çözüm üreten firmalar
3	Çok yüksek sayıda şikâyet alan, karşılığında çok düşük düzeyde yanıt dönen ve çözüm üreten firmalar
4	Orta düzeyde şikâyet alan, yüksek seviyede yanıt dönen ve çözüm üreten firmalar
5	Yüksek sayıda şikâyet alan, buna rağmen yüksek seviyede yanıt dönen ve çözüm üreten firmalar
6	Çok az sayıda şikâyet alan, düşük düzeyde yanıt dönen, orta düzeyde çözüm üreten firmalar
7	Orta düzeyde şikâyet alan, çok düşük düzeyde yanıt dönen ve çözüm üreten firmalar

ŞYÇH modeli

ŞYÇH model değişkenleri kullanıldığında Ward algoritmasının ürettiği dendrogram Şekil 3'te verilmiştir. Şekilde verilen dendrograma göre, en uygun küme sayısı (k)

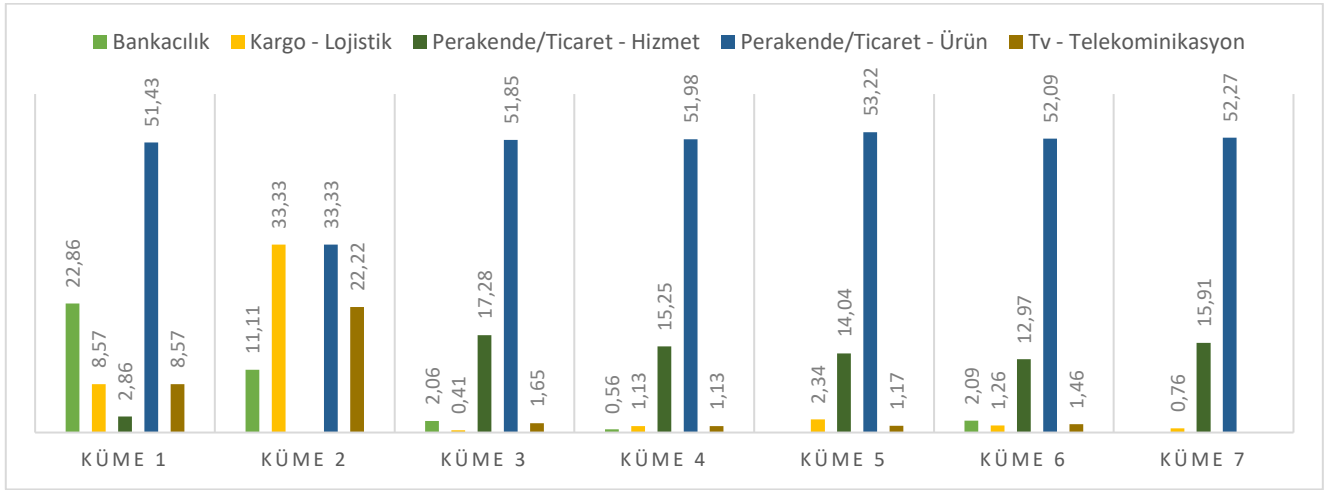
7 olarak belirlenmiş ve k, 7 değeri için K-ortamalar algoritmasının küme bazlı sonuçları (her bir kümenin eleman sayısı ve ortalama değişken değerleri) Tablo 6'da detaylı olarak gösterilmiştir. Şekil 4'te ise elde edilen bu kümelerin sektörlere dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3. ŞYÇH Modeli için üretilen Dendrogram

Tablo 6. ŞYÇH modeli kümelerinin değişken istatistikleri

Küme	Adet	Ş	Y	H	Ç	Yanıtlanma Oranı (%)	Çözülme Oranı (%)
1	35	13.011,94	12.777,60	11.813,14	2.782,77	98,50	23,83
2	9	51.908,56	38.926,33	63.446,67	8.161,00	85,68	17,85
3	243	479,89	439,30	60.062,47	124,41	95,02	31,11
4	177	780,99	500,97	166.495,93	109,69	65,39	23,89
5	171	467,66	395,40	111.482,11	98,95	75,79	28,75
6	478	776,27	765,17	12.396,15	196,88	98,29	31,31
7	132	453,66	180,34	219.767,73	52,51	47,40	16,32
Ort.		1.356,11	1.164,78	79.546,12	271,85	83,43	27,97



Şekil 4. ŞYÇH modeli kümelerinin sektör dağılımları (%)

Tablo 6'yı incelediğimizde, diğer kümelerle göre küme 2 açık ara en fazla şikâyet sayısına (ortalama 51.908,56) sahip olan kümedir. Bu kümede yer alan firmalar, tüm kümeler dikkate alındığında, şikâyetlerine yüksek oranda (%85,58) ve hızlı dönüş sağlarken, düşük düzeyde çözüm (%17,85) üretmektedirler. Şekil 4'e baktığımızda, bu kümedeki firmaların kargo/lojistik, perakende/ticaret-ürün, TV/telekomünikasyon ve bankacılık sektörlerine ait olduğu görülmektedir. Vodafone, Turkcell, Trendyol, Hepsiburada, Çiçeksepeti, Aras Kargo, Mng Kargo, Sürat Kargo ve Ziraat Bankası bu kümede konumlanan firmalardır. Şikâyet sayısı açısından küme 2'ye, en yakın grup ortalama 13.011,94 şikâyet sayısı ile küme 1'dir. Yüksek şikâyet sayısına rağmen, bu gruptaki firmalar, şikâyetlere çok yüksek seviyede dönüş yapmakta (%98,5) ve aynı zamanda çok hızlı dönüş sağlamaktadırlar. Bu küme, tüm kümeler içinde şikâyetlere en hızlı dönüş yapan firmalardan oluşmakta ve Şekil 4'e göre, bu küme, ağırlıklı olarak perakende/ticaret-ürün (%51,43) ve bankacılık (%22,86) sektöründe yer alan firmaları içermektedir. Akbank, Garanti BBVA, Boyner, Mediamarkt, Defacto ve Arçelik bu grupta yer alan firmalardan bazılarıdır.

Küme 1 ve küme 2 dışındaki kümelerin şikâyet sayıları bu kümelerle göre daha az ve birbirine yakındır. Bu kümeler arasından, küme 6, şikâyetleri yanıtlama oranı ve hızı açısından küme 1'den sonra en iyi grup iken, 31,31% ile şikâyetlere en yüksek oranda çözüm sağlayan kümedir.

Tablo 6'daki tüm kümeler incelendiğinde, ŞYÇH model değişkenlerine göre küme 7, şikâyet yönetimi performansı açısından diğer kümelerin çok uzağında kalmıştır. Bu kümede yer alan firmalar, şikâyetlerin ortalama %47,4'üne geri dönüş yaparlarken, ortalama %16,32'sine ise ancak çözüm sağlayabilmişlerdir. Benzer şekilde, bu grup şikâyetlere dönüş hızı açısından açık ara en sonda yer alan kümedir.

Şekil 4 incelendiğinde, küme 2 dışındaki tüm kümelerde yer alan firmaların yarısından fazlası perakende/ticaret-ürün sektörüne ait olup bu sektöre ait firmalar açık ara başı çekmektedir. Tablo 6'da verilen ŞYÇH modeli özellikleri verilerine göre, elde edilen kümelerin karakteristik özellikleri özet olarak Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 7. ŞYÇH modeline göre küme profilleri

Küme	Profil
1	Yüksek sayıda şikâyet alan, çok yüksek oranda ve çok hızlı yanıt dönen ve orta düzeyde çözüm üreten firmalar
2	Yüksek sayıda şikâyet alan, yüksek oranda ve hızlı yanıt dönen ve düşük düzeyde çözüm üreten firmalar
3	Düşük sayıda şikâyet alan, çok yüksek oranda ve hızlı yanıt dönen, yüksek düzeyde çözüm üreten firmalar
4	Düşük sayıda şikâyet alan, düşük oranda ve geç yanıt dönen ve orta düzeyde çözüm üreten firmalar
5	Düşük sayıda şikâyet alan, orta düzeyde ve geç yanıt dönen ve yüksek düzeyde çözüm üreten firmalar
6	Düşük sayıda şikâyet alan, çok yüksek oranda ve çok hızlı yanıt dönen, yüksek düzeyde çözüm üreten firmalar
7	Düşük sayıda şikâyet alan, çok düşük oranda ve çok geç yanıt dönen ve düşük düzeyde çözüm üreten firmalar

Sonuç

Günümüz koşulları rekabetin çokça arttığı ve satış-pazarlama hizmet kanallarının etkin kullanılmasının gerektiği bir dönemdir dolayısıyla firmaların yeni ve potansiyel müşteri edinme stratejilerinin yanı sıra mevcut müşterilerin talep, istek, öneri ve şikâyetlerini de yönetebilmeleri gerekmektedir. Diğer taratan internetin hızla yayılması, tüketicilere ürün ve hizmetlerle ilgili şikâyetlerini çevrimiçi olarak yayınlama olanağı sağlamıştır. Bu bağlamda, üçüncü parti şikâyet platformları, tüketiciler ve firmalar arasındaki çözüm sürecini kolaylaştıran ve yaygın olarak kullanılan araçlardır.

Bu çalışmada, Türkiye'nin en bilinen üçüncü parti şikâyet platformu olan Sikayetvar.com internet sitesinde kaydı olan firmaların şikâyet yönetim performansları CRISP-DM süreci adımları dikkate alınarak kümeleme analizi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, Sikayetvar platformundan firmalara ilişkin yapılan şikâyet sayıları, bu şikâyetlerin firmalar tarafından yanıtlanma sayıları, ortalama yanıtlanma süreleri ve çözülen şikâyetlerin sayısı gibi niteliklere ilişkin veriler çekilmiştir. Şirketler, ŞYÇ ve ŞYÇH iki ayrı model özellikleri temelinde, Ward tekniği ve K-ortalamlar algoritmasını bir arada kullanan, iki aşamalı kümeleme yöntemi ile gruplara ayrılmıştır. Elde edilen kümeler, ŞYÇ ve ŞYÇH modelleri nitelikleri baz alınarak karakterize edilmiş ve firma sektörleri açısından analiz edilmiştir.

Değerlendirme neticesinde, örneklem olarak ele alınan firmalar hem ŞYÇ hem de ŞYÇH niteliklerine göre yedi

gruba ayrılmıştır. Elde edilen kümeler incelendiğinde, her iki kümeleme analizinde de en çok şikâyet alan firmalar genel olarak kargo/lojistik, TV/telekomünikasyon ve bankacılık sektörlerinde hizmet vermektedir. Bir diğer önemli bulgu ise bu sektörlerde hizmet veren ve çok fazla şikâyet alan firmaların, iki farklı gruba ayrıldıkları gözlenmiştir. Bir gruptakiler şikâyetlerine büyük oranda hızlı bir şekilde cevap verip çözüm sağlarken, bunun aksine, yüksek sayıda şikâyet alan diğer bir grup şirketin ise şikâyetlerini yönetmede yetersiz kaldıkları görülmüştür. Araştırma sonucunda elde edilen farklı firma küme profilleri sayesinde firmalar, şikâyet yönetimi açısından kendi performanslarını değerlendirip, kendilerine hedef profil belirleyebilir ve bu doğrultuda geliştirme göstermeleri gereken noktaları belirleyebilirler.

Çalışmamızın en temel kısıtı veriler ile ilgilidir. Sikayetvar.com internet sitesinin 13.09.2021 tarihli verileri ile bu araştırmanın veri seti oluşturulmuş ve analizlerde kullanılmıştır. Gün içerisinde birçok kullanıcının ziyaret edip etkileşimde bulunduğu internet sitesinin verileri sürekli güncellenmektedir. Dolayısı ile gelecekteki çalışmalar, daha geniş tarih aralığındaki daha büyük oranda veri ile bu araştırmayı tekrarlayarak bu çalışmanın bulgularını test edebilir, değişen analiz sonuçlarına karşın yeni bulgular öne sürebilirler. Gelecekteki çalışmalar için diğer olası geliştirilebilecek yönler, firmaların şikâyet yönetim davranışlarını daha iyi anlamak ve daha yararlı yorumlayabilmek adına bu çalışmada kullanan niteliklere ilave olarak yeni değişkenler kullanmak ve sonuçları sektörel bazlı olarak daha detaylı analiz etmek, olabilir

Kaynakça

- [1] T.-L. B. Tseng and C. C. Huang, "Rough set-based approach to feature selection in customer relationship management," *Omega*, vol. 35, no. 4, pp. 365–383, 2007.
- [2] M. Zairi, "Managing customer dissatisfaction through effective complaints management systems," *TQM Mag.*, vol. 12, no. 5, 2000.
- [3] J. L. Ferguson and W. J. Johnston, "Customer response to dissatisfaction: A synthesis of literature and conceptual framework," *Ind. Mark. Manag.*, vol. 40, no. 1, pp. 118–127, 2011.
- [4] C. H. Lee, Y. H. Wang, and A. J. C. Trappey, "Ontology-based reasoning for the intelligent handling of customer complaints," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 84, pp. 144–155, 2015.
- [5] Y. Yang, D. L. Xu, J. B. Yang, and Y. W. Chen, "An evidential reasoning-based decision support system for handling customer complaints in mobile telecommunications," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 162, pp. 202–210, 2018.
- [6] X. Luo, "Consumer negative voice and firm-idiosyncratic stock returns," *J. Mark.*, vol. 71, no. 3, pp. 75–88, 2007.
- [7] P. F. Wu, "In search of negativity bias: An empirical study of perceived helpfulness of online reviews," *Psychol. Mark.*, vol. 30, no. 11, pp. 971–984, 2013.
- [8] A. J. Kimmel and P. J. Kitchen, "WOM and social media: Presaging future directions for research and practice," *J. Mark. Commun.*, vol. 20, no. Kimmel, A. J., Kitchen, P. J. (2014). WOM and social media: Presaging future directions for research and practice. *Journal of Marketing Communications*, 20(1-2), pp. 5–20, 2014.
- [9] S. Senecal and J. Nantel, "The influence of online product recommendations on consumers' online choices," *J. Retail.*, vol. 80, no. 2, pp. 159–169, 2004.
- [10] E. W. T. Ngai, L. Xiu, and D. C. K. Chau, "Application of data mining techniques in customer relationship management: A literature review and classification," *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 2, pp. 2592–2602, 2009.
- [11] A. Dursun and M. Caber, "Using data mining techniques for profiling profitable hotel customers: An application of RFM analysis," *Tour. Manag. Perspect.*, vol. 18, pp. 153–160, 2016.
- [12] S. Peker, A. Kocycigit, and P. E. Eren, "LRFMP model

- for customer segmentation in the grocery retail industry: a case study,” *Mark. Intell. Plan.*, vol. 35, no. 4, pp. 1–16, 2017.
- [13] A. Sheikh, T. Ghanbarpour, and D. Gholamiangonabadi, “A Preliminary Study of Fintech Industry: A Two-Stage Clustering Analysis for Customer Segmentation in the B2B Setting,” *J. Business-to-bus. Mark.*, 2019.
- [14] S. Guney, S. Peker, and C. Turhan, “A combined approach for customer profiling in video on demand services using clustering and association rule mining,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 84326–84335, 2020.
- [15] M. Khajvand, K. Zolfaghar, S. Ashoori, and S. Alizadeh, “Estimating customer lifetime value based on RFM analysis of customer purchase behavior: Case study,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 3, pp. 57–63, 2011.
- [16] E. Nikumanesh and A. Albadvi, “Customer’s life-time value using the RFM model in the banking industry: A case study,” *Int. J. Electron. Cust. Relatsh. Manag.*, vol. 8, no. 1–3, pp. 15–30, 2014.
- [17] F. Safari, N. Safari, G. A. Montazer, T. Brashear Alejandro, and T. Brashear Alejandro, “Customer lifetime value determination based on RFM model,” *Mark. Intell. Plan.*, vol. 34, no. 4, 2016.
- [18] TÜİK, “Hanehalkı Bilişim Teknolojileri (BT) Kullanım Araştırması, 2021,” [https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hanehalki-Bilisim-Teknolojileri-\(BT\)-Kullanim-Arastirmasi-2021-37437](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hanehalki-Bilisim-Teknolojileri-(BT)-Kullanim-Arastirmasi-2021-37437), Aug-2021.
- [19] T. M. Tripp and Y. Grégoire, “When unhappy customers strike back on the internet,” *MIT Sloan Manag. Rev.*, 2011.
- [20] W. J. Frawley, G. Piatetsky-Shapiro, and C. J. Matheus, “Knowledge discovery in databases: An overview,” *AI Mag.*, vol. 13, no. 3, p. 57, 1992.
- [21] U. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, and P. Smyth, “From data mining to knowledge discovery in databases,” *AI Mag.*, vol. 17, no. 3, p. 37, 1996.
- [22] I. H. Witten, E. Frank, M. A. Hall, and C. J. Pal, *Data Mining: Practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann, 2016.
- [23] A. S. S. & C. R. H. Abbasi, “Big data research in information systems: Toward an inclusive research agenda,” *J. Assoc. Inf. Syst.*, vol. 17, no. 3, 2016.
- [24] F. Martinez-Plumed *et al.*, “CRISP-DM Twenty Years Later: From Data Mining Processes to Data Science Trajectories,” *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 33, no. 8, pp. 3048–3061, 2019.
- [25] C. Pete *et al.*, “Crisp-Dm 1.0,” *Cris. Consort.*, 199AD.
- [26] H. Jiawei and M. Kamber, “Data mining: concepts and techniques,” *San Fr. CA, itd Morgan Kaufmann*, vol. 5, 2001.
- [27] I. H. Witten and E. Frank, *Data Mining: Practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann, 2005.
- [28] G. Punj and D. W. Stewart, “Cluster analysis in marketing research: Review and suggestions for application,” *J. Mark. Res.*, pp. 134–148, 1983.
- [29] A. K. Jain, “Data clustering: 50 years beyond K-means,” *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 31, no. 8, pp. 651–666, 2010.
- [30] Y. H. Hsiao, L. F. Chen, Y. L. Choy, and C. T. Su, “A novel framework for customer complaint management,” *Serv. Ind. J.*, vol. 36, no. 13–14, pp. 675–698, 2016.
- [31] S. Chugani, K. Govinda, and S. Ramasubbareddy, “Data Analysis of Consumer Complaints in Banking Industry using Hybrid Clustering,” in *Proceedings of the 2nd International Conference on Computing Methodologies and Communication, ICCMC 2018*, 2018, pp. 74–78.
- [32] A. Ghazzawi and B. Alharbi, “Analysis of Customer Complaints Data using Data Mining Techniques,” in *Procedia Computer Science*, 2019, pp. 62–69.
- [33] R. Sann, P.-C. Lai, S.-Y. Liaw, and C.-T. Chen, “Predicting Online Complaining Behavior in the Hospitality Industry: Application of Big Data Analytics to Online Reviews,” *Sustainability*, vol. 14, no. 3, p. 1800, 2022.
- [34] L. S. Caliskan and S. Kiran, “İş Süreçlerinin Otomasyonunda RPA Faydaları,” <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1104503>, 2020.
- [35] J. Y. C. & D. M. Ho, “Viral marketing: Motivations to forward online content,” *J. Bus. Res.*, vol. 63, pp. 1000–1006, 2010.



Transfer Öğrenme Mimarileri Kullanılarak Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinden Covid-19'un Yüksek Doğrulukla Sınıflandırılması

High Accuracy Classification of Covid-19 from CT Images Using Transfer Learning Architectures

Farid Al-Areqi¹, Mehmet Zeki Konyar^{2*}

¹ Kocaeli Üniversitesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, ffuad95@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7607-993X>

² Kocaeli Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, mzeki.konyar@kocaeli.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8914-5553>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 23 Nisan 2022
Revizyon 13 Haziran 2022
Kabul 13 Temmuz 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

Covid-19,
DenseNet201,
Derin öğrenme,
Transfer Öğrenme,
VGG19.

ÖZ

Covid-19 virüsü 2019 yılından beri milyonlarca kişinin ölümüne neden olmuştur. Enfekte vaka oranını mümkün oldukça düşük tutmak amacıyla, virüsü tespit etmek ve hasta kişileri teşhis etmek için, çeşitli testler kullanılmıştır. Yapay zekâ, PCR testi gibi geleneksel yöntemlerden daha iyi performans göstererek, tıbbi görüntülerde virüsü tespit etmede kullanılan yöntemlerden biri olarak etkinliğini kanıtlamıştır. Bu çalışmada, halka açık iki farklı veri seti üzerinde derin öğrenme yaklaşımı ile Covid-19 sınıflandırması yapmak üzere VGG19, ResNet50, EfficientNetB0, DenseNet201 ve Xception transfer öğrenme mimarileri kullanılmıştır. Önerilen çalışmada daha yüksek doğruluklar elde etmek için modellerin hiper parametreleri üzerinde ince ayarlar yapılmıştır. Önerilen modellerin kullanılmasıyla en iyi sınıflandırma doğrulukları, birinci veri setinde VGG19 ile %98,04 ve ikinci veri setinde ResNet50 ile %99,62 olarak elde edilmiştir. Her iki veri setinin test kümelerinde VGG19 ve DenseNet201 modelleri güncel literatür yöntemleriyle kıyaslanabilir doğruluklara erişmiştir. İkinci veri setinin sınıflandırma sonuçları, bu makalede kullanılan modellerin ortalama %99,51 ile diğer literatür yöntemlerinden daha yüksek doğruluklara ulaştığını göstermiştir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 April 2022
Received in revised form 13 June 2022
Accepted 13 July 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Covid-19,
DenseNet201,
Deep Learning,
Transfer Learning,
VGG19.

ABSTRACT

The Covid-19 virus has caused the deaths of millions of people since 2019. To keep the infected cases rate as low as possible, several types of tests have been used to detect the virus and diagnose the patients. Artificial intelligence has proven its effectiveness as one of the methods used in detecting the virus in medical images, outperforming traditional methods such as PCR testing. In this study, VGG19, ResNet50, EfficientNetB0, DenseNet201 and Xception transfer learning architectures were used to classify Covid-19 with a deep learning approach on two different publicly available datasets. In the proposed study, the hyperparameters of the models were fine-tuned to obtain higher accuracies. With the use of the proposed models, the best classification accuracies were obtained with VGG19 as 98.04% in the first dataset and 99.62% with ResNet50 in the second dataset. In the test sets of both datasets, the VGG19 and DenseNet201 models achieved comparable accuracies with the state-of-the-art literature methods. The classification results of the second data set showed that the models proposed in this article achieved higher accuracy than other literature methods with an average of 99.51%.

Doi: 10.24012/dumf.1129870

* Sorumlu Yazar

Giriş

Covid-19, çok tehlikeli olan ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 2020 yılında küresel pandemi ilan edilen Corona ailesi virüslerinden biridir [1]. İlk olarak Aralık 2019'da Çin'in Wuhan kentinde keşfedilmiştir. Bu hastalığın yayılması doğrudan enfekte insanlardan veya dolaylı olarak kontamine nesnelere veya yüzeylere aracılığıyla ortaya çıkabilmektedir [2]. Ateş, yorgunluk, kuru öksürük, göğüs ağrısı, nefes darlığı bu hastalığın belirtilerinden bazılarıdır. Vakaların çoğunda semptomlar enfeksiyondan birkaç gün sonra ortaya çıkmaktadır. Covid-19, diğer virüslere kıyasla alt ve üst solunum yollarını daha yüksek oranda enfekte edebilmektedir. Sosyal mesafeyi korumak, maske ve dezenfektan kullanmak insanların bu hastalıktan korunmak için izledikleri önlemlerden olmuştur [3]-[6].

Bu hastalığın toplumda yayılımını durdurmak için en önemli yol, hastalığın erken tespiti olmuştur. Bu ani salgın nedeniyle, çeşitli araştırma merkezleri onu tedavi etmek için farklı teşhis teknikleri ve aşılarda belirlemeye çalışmaktadır. RT-PCR, Trakeal aspirat, balgam testi ve Kan testinin ile Covid-19'u tespit etmek için birkaç saat veya gün gerekmektedir [7]. Ayrıca bu testler için burun salgısı örnekleri, akciğerlerden mukus, kan örnekleri gerekmektedir. Oysaki yapay zekâ yöntemleriyle bu hastaların tespiti daha hızlı ve daha kolay olmaktadır. Literatürde makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleriyle yapılan çalışmalar mevcuttur [1].

İlgili Çalışmalar

JavadiMoghaddam ve diğerleri [8], dalgacık ve dört evrişim katmanı ve ortaklama katmanında Sıkma Uyarma Bloğu (Squeeze Excitation Block) katmanından oluşan Dalgacık CNN-4 adlı bir derin öğrenme modeli önermişlerdir. Önerilen modeli VGG11, ResNet18, ResNet50 ve Inception-v3 gibi önceden eğitilmiş modellerle karşılaştırmışlardır. Önerilen model %99,03 doğruluk elde etmiştir. Balaha ve arkadaşları [9], Covid-19'u tespit etmek için önceden eğitilmiş modellere dayalı hibrit öğrenme ve optimizasyon yaklaşımı önermişlerdir. Hiperparametreleri optimize etmek için Harris Hawks Optimizasyon (HHO) algoritması kullanılmıştır. Halka açık üç veri setini birleştirerek veri artırmayı gerçekleştirmişlerdir. Modellerin kombinasyonları arasında karşılaştırma yapmak için bir değerlendirme metriği olarak Ağırlıklı Toplam Yöntemi (WSM) kullanılmış olup en iyi doğruluk VGG19 ile %99,33 olarak elde edilmiştir.

Ahamed ve arkadaşları [10], önerilen modellerini eğitmek için çalışmalarında göğüs röntgeni ve CT görüntülerinden oluşan veri setlerini kullanmışlardır. Görüntüler, önerilen ResNet50V2 modeline girmeden önce ön işleme tabi tutulmuş ve büyütülmüşlerdir. Düzenleştirme ve ince ayar süreçleriyle temel modele ekstra katmanlar eklenmiştir. Görüntüleri ön-işlemeli ve ön-işlemesiz olmak üzere iki sınıflı, üç sınıflı ve dört sınıflı kategorilere göre sınıflandırmışlardır. Model, ön-işlemeli ve ön-

işlemesiz 3 sınıf kategorisi için sırasıyla %99,01 ve %83,6 doğruluk elde etmiştir.

Bağdadi ve diğerleri [11], önceden eğitilmiş SeresNext50, SeresNext101, SeNet154, MobileNet, MobileNetV2, MobileNetV3Small ve MobileNetV3Large modellerini kullanmışlardır. En iyi konfigürasyonu bulmak için önceden eğitilmiş CNN (Convolutional Neural Network, Evrişimsel Sinir Ağı) modellerinin hiper parametrelerini bir Serçe arama algoritması ile optimize etmişlerdir. Yazarlar, ikisi iki sınıflı ve diğeri üç sınıflı olmak üzere halka açık üç veri seti kullanmışlardır. Veri setlerini ikili sınıflarda birleştirip onu ikili bir veri seti olarak kullandılar. Hem birleştirilmiş hem de üç sınıflı veri setleri, artırma teknikleri kullanılarak dengelenmiştir. Elde edilen en iyi doğruluk, MobileNetV3Large ve SeNet154 modellerinde sırasıyla iki sınıf için %99,74 ve üç sınıf için %98 olmuştur.

Zheng ve arkadaşları [12], CT görüntülerinden Covid-19 tespiti için 3-boyutlu derin evrişimli sinir ağı (DeCoVNet) kullanmayı önermişlerdir. Çalışmaya 540 hasta dahil edilmiş olup, bunların 313'ü Covid-19'lu ve 229 hasta Covid-19 değildir. Ağ, birleşik bir şekilde, basit bir 2D UNet ile önceden eğitilmiştir. Eşikleri değiştirilerek Covid-19'u tespit edilmiş ve %90,8 sınıflandırma doğruluğuna erişmişlerdir.

Xu ve arkadaşları [13], 219 Covid-19, 175 sağlıklı insan ve 224 influenza-A viral pnömonisi (IAVP) içeren 618 CT görüntüsü içeren üç sınıfın derin öğrenmeye dayalı sınıflandırılmasını önermişlerdir. Transfer öğrenme modeli ile 3-boyutlu CNN bölütleme yöntemi kullanılmışlardır. Transfer öğrenme modelleri, ResNet-18 tabanlı geleneksel sınıflandırma ve konum-dikkat temelinde yapılandırılmıştır. Bu çalışmada, Covid-19, IAVP ve sağlıklı vakaları %86,7 doğruluk oranıyla üç sınıf olarak sınıflandırılmıştır. Üç sınıfın bir başka derin öğrenme tabanlı sınıflandırmasında Song ve arkadaşlarının çalışmasında [14], Covid-19'lu 88 hastayı, bakteri pnömonisi ile enfekte 100 hastayı ve sağlıklı 86 kişiyi vardır. Ayrıntılı ilişki çıkarma sinir ağı adlı önceden eğitilmiş ResNet50 modeli tabanlı bir derin öğrenme modeli kullandılar ve üç sınıflı sınıflandırma için %93 doğruluk oranı elde ettiler.

Wang ve arkadaşları [15], Covid-19 hastalarını sınıflandırmak için GoogleNet başlangıç ağı modeli adlı önceden eğitilmiş bir modelle kullanılmış transfer öğrenme içeren bir CNN modeli kullanmışlardır. 325 Covid-19 pozitif ve 740 Covid-19 negatif hasta için sınıflandırma doğrulukları %89,5'tir. Alsharman ve diğerleri [16], GoogleNet tabanlı CNN sınıflandırıcı adlı önceden eğitilmiş bir model kullanmış ve %82,14 doğruluk oranı elde etmişlerdir. Çalışmaları 463 Covid-19 olmayan görüntü ve 349 Covid-19 CT görüntüsü içermektedir. Neha ve diğerleri [17], CNN tabanlı bir model ve lojistik regresyon tabanlı bir model önermişlerdir. İki farklı veri seti kullandıkları CNN modeliyle, %99,10 doğruluğa erişmişlerdir.

Bu makalede önerilen çalışmamızda transfer öğrenme temelli derin öğrenme yöntemleri olan VGG19,

ResNet50, EfficientNetB0, DenseNet201 ve Xception ile Covid-19 tespiti yapılması amaçlanmıştır. Önerilen çalışmada iki farklı veri seti üzerinde sınıflandırma etkileri incelenmiş olup, çalışmanın ana katkıları; önceden eğitilmiş transfer öğrenmesi modellerine yeni katmanlar eklenerek iki ortak CT Covid-19 veri setinin değerlendirilmesi, en güncel yöntemlerle kıyaslanabilir bir performans elde edilmesi, önerilen modelin katmanlarının ve parametrelerinin iki farklı veri seti ile iyileştirilmesiyle yüksek doğruluklara erişilmesi olarak özetlenebilir.

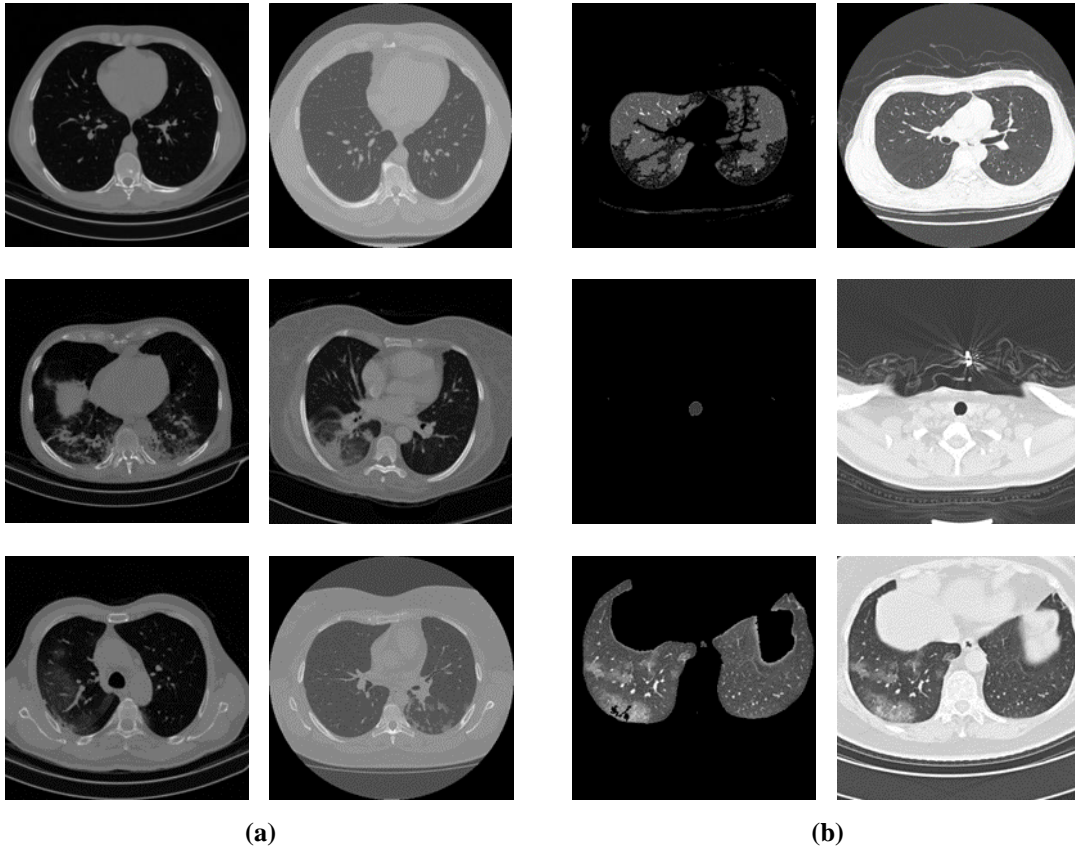
Bu makalenin geriye kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir: Malzeme ve Yöntem kısmında, veri setleri, derin öğrenme, transfer öğrenmesi, sınıflandırma için önerilen yöntemin mimarisi verilmiştir. Bulgular ve Tartışma kısmında, önerilen yaklaşımların veri setleri üzerindeki başarımları değerlendirilmiştir.

Malzeme ve Yöntem

Bu bölüm, bu makalede kullanılan veri setleri, derin CNN modelinin ayrıntıları, önceden eğitilmiş CNN modelleri olan VGG19, ResNet50, EfficientNetB0, DenseNet201 ve Xception ve önerilen sınıflandırma yaklaşımının detayları anlatılacaktır.

Veri seti

Bu çalışmada için halka açık iki veri seti kullanılmıştır. İlk veri setinin (Large COVID-19 CT scan slice dataset) [18] 466 hastadan 7.593 Covid-19 görüntüsü, 604 hastadan 6.893 normal görüntü ve 60 hastadan 2.618 Toplum kökenli pnömoni (CAP) görüntüsü içermektedir. İkinci veri seti (CT Scans for COVID-19 Classification) [19] üç sınıftan oluşmaktadır.



Şekil 1. Veri setlerinden görüntü örnekleri. (a) [18]'deki Veri seti, Normal (üstte), CAP (ortada) Covid-19 (altta) (b) [19]'deki Veri seti, Negatif (üstte), NiCT (ortada) Pozitif (altta)

Bu veri setinin, iki versiyonu vardır, orijinal versiyon ve ön işlemden geçirilmiş versiyon. Ön-ışlemeli versiyon, CT görüntülerinden akciğer parankiminin çıkarılmasıyla oluşturulmuştur. Birinci sınıf 9979 negatif CT (nCT) görüntüsü, ikinci sınıf, 4001 pozitif CT (pCT) görüntüsü, üçüncü sınıf, akciğer parankimi olmayan 5705 bilgilendirici olmayan CT (NiCT) görüntüsü içermektedir. Her iki veri setindeki üç sınıf için bazı görüntü örnekleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu veri setleri hakkında daha fazla ayrıntı [18] ve [19]'daki kaynaklardan incelenebilir. Önerilen model

metodolojisi, derin transfer öğrenme mimarisine dayanmaktadır. Araştırmacılar son zamanlarda çeşitli bilgisayar görme problemlerini ele almak için transfer öğrenme tabanlı CNN modellerini kullanmakla ilgilenmeye başlamışlardır. Son yıllarda, bu modeller tıbbi hastalık teşhisinde [20], endüstride ve tarımda [21],[22] yaygın olarak kullanılmışlardır.

Evrişimsel sinir ağı

Evrişimsel Sinir Ağı (Convolutional Neural Network, CNN) [23], tıbbi araştırmalarda kullanılan en verimli ve başarılı derin öğrenme modellerinden biridir. Görüntülerdeki kalıpları analiz etmek için kullanılır. CNN modelinde girdi, evrişimsel katmanlar adı verilen bazı gizli katmanlardan geçirilen görüntülerdir. CNN katmanlarının sonucunda, eğitim verilerine dayanarak verilen girdi görüntüsünü sınıflandıran veya etiketleyen çıktılar alınmaktadır. CNN'nin dört temel katmanı vardır: Evrişim katmanı, aktivasyon katmanı, ortaklama katmanı ve tam bağlı katman.

Evrişim katmanı

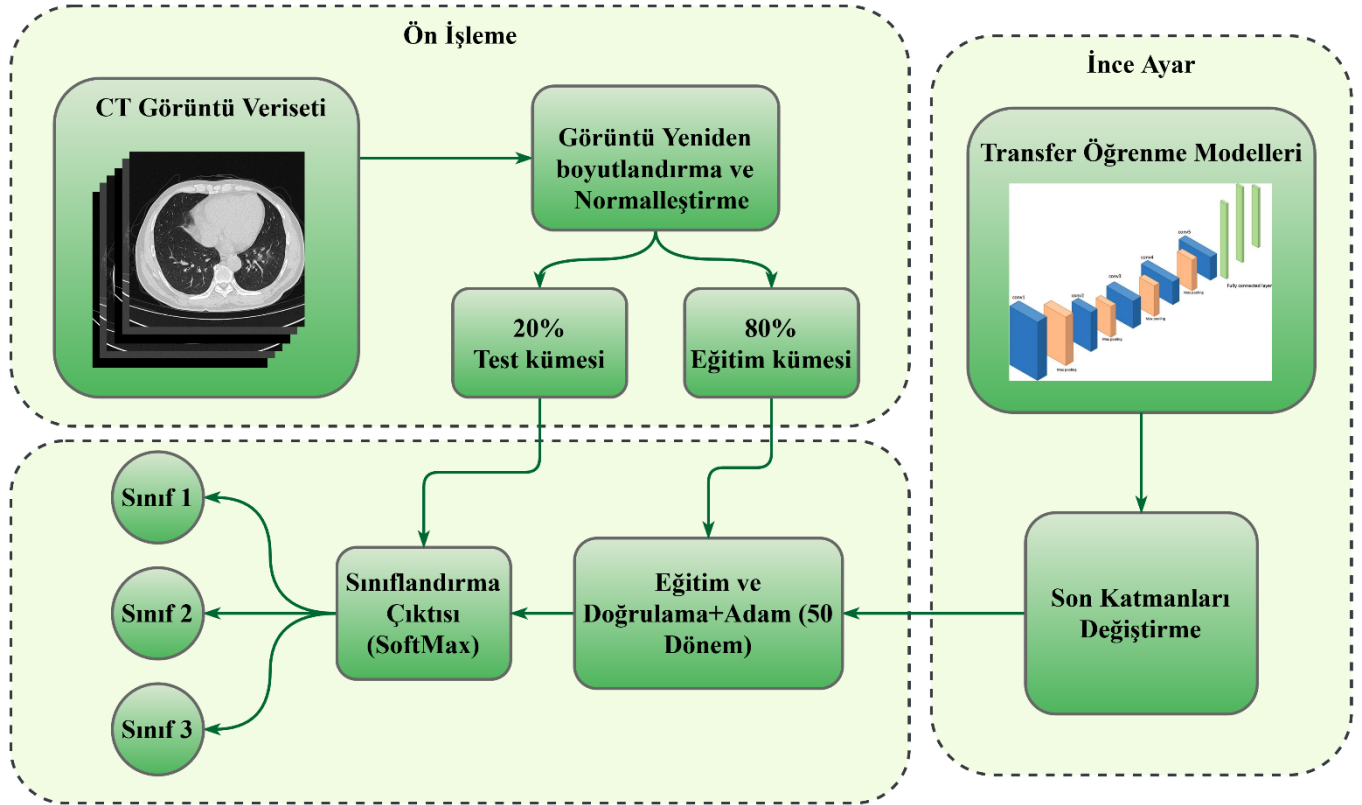
Evrişim katmanı, bir CNN'nin ana yapı taşıdır. Temel matris çarpması yerine, a^* ile gösterilen bir evrişim işlemi gerçekleştirir. Parametreleri, genellikle çekirdekler olarak bilinen bir dizi öğrenilebilir filtre kullanılarak oluşturulur. Bu katmanın amacı, girdi görüntülerinin yerel bölgelerindeki öznitelikleri bulmak ve girdi verilerinde gözlenen özniteliklerin varlığını azaltan bir öznitelik haritası üretmektir. Temel evrişim işlemi Denklem (1)'e göre yazılabilir:

$$F(i, j) = (I * K)(i, j) = \sum_m \sum_n I(i + m, j + n)K(m, n) \quad (1)$$

Burada I bir girdi görüntü matrisini ifade eder, m ve n görüntünün satır sütun boyutlarını temsil eder ve K bir 2-boyutlu filtre/çekirdeği temsil eder. 2-boyutlu karakteristik haritasının sonucu F 'dir. F , I girişinin K ile evrilmesiyle üretilir. Bu nedenle, $I * K$ evrişim eylemini belirtir. $*$ ayrı bir evrişim sürecini gösterir. Matris K , adım parametresini hesaba katarak giriş matrisini tarar. Ayrıca, doğrusal olmayanlığın oluşturulması için, evrişimin her katmanının sonuçları, aktivasyon işlevi adı verilen bir işlev kullanılarak derlenir [24].

Aktivasyon katmanı

Derin öğrenme alanında en iyi bilinen aktivasyon katmanlarından biri olan ReLU (rectified linear unit, düzeltilmiş doğrusal birim) ile, çeşitli türlerde aktivasyon işlevleri yaygın olarak kullanılmaktadır. ReLU aktivasyon işlevi genellikle girişin sıfıra normalleştirilmesiyle hesaplanır.



Şekil 2. Önerilen sınıflandırma yaklaşımının blok diyagramı

ReLU ayrıca giriş 0'dan küçükse 0 çıkışı ve giriş 0'dan büyükse ham çıkış üretir. Denklem (2), matematiksel olarak temsil etmek için kullanılabilir.

$$f(x) = \max(0, x) \quad (2)$$

Dolayısıyla, x 'in giriş değeri sıfırdan küçükse, $f(x)$ işlevi 0 döndürür; x 'in giriş değeri sıfırdan büyük veya sıfıra eşitse, $f(x)$ işlevi 1 döndürür.

Ortaklama katmanı

Ortaklama katmanları, bir CNN'deki evrişim katmanı dizilerinin önemli bir parçasıdır. Bu katmanlar, bir katmandaki nöron demetlerinin çıktılarını toplayarak ve sonraki katmanda bunları tek bir nörona dönüştürerek girdi verilerinin uzamsal boyutlarını azaltır. Ortaklama katmanları, öznitelik haritasının her kanalı üzerinde 2 boyutlu bir filtrenin kaydırılmasını ve filtre kapsama alanı içindeki özelliklerin

özetlenmesini gerektirir. Maksimum ortaklama, L2-norm ortaklama, küresel ortaklama katmanları ve ortalama ortaklama, evrişimsel sinir ağlarında kullanılan ortaklama katmanlarından bazılarıdır. Diğer ortaklama teknikleri ile karşılaştırıldığında, maksimum ortaklama, giriş bölgesinde kullanılırken maksimum değeri sağlar.

Tam bağlı katman

Tam bağlı katman, önceki katmandaki tüm nöronun bir sonraki katmandaki tüm nörona bağlandığı ve ardından her bir değer her bir sınıfla yaklaşık ne kadar eşleştiğinin tahminini ilettiği CNN'nin temel bir parçasıdır. Tam bağlı katman çıktısı daha sonra çıktı sınıfı puanları sağlayan bir etkinleştirme işleviyle birleştirilir. CNN, Sigmoid, SoftMax gibi çeşitli fonksiyonları kullanır. SoftMax Denklem (3) ile, K sayıda çıktı kategorisinin olasılık dağılımını hesaplayabilir.

$$S(x_i) = \frac{e^{x_i}}{\sum_{j=1}^K e^{x_j}} \quad (3)$$

Burada girdi vektörü x_i olarak işaretlenmiştir, K sınıflandırma sınıflarının sayısını belirtirken, çıktı vektörü S olarak etiketlenmiştir, burada $i = 1, \dots, n$. Tüm çıktılar toplamı, S bire eşittir [24].

Önceden eğitilmiş CNN'ler: Transfer Öğrenme Modelleri

Son zamanlarda Covid-19 hastalığının tespit edilmesi için makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır [25]. Bu çalışmada CT görüntülerindeki Covid-19'u, Covid-19 olmayanlardan ayırt etmek için önceden eğitilmiş VGG19, ResNet50, EfficientNetB0, DenseNet201 ve Xception mimarilerine dayanan modellerin kullanılması önerilmiştir. Önceden eğitilmiş ağlar, ImageNet veri tabanındaki bir milyondan fazla görüntü üzerinde eğitilmişlerdir. Önceden eğitilmiş ağlar, görüntüleri klavye, fare, kurşun kalem ve birçok hayvan gibi 1000 nesne kategorisine ayırabilmektedirler. Sonuç olarak, bu ağlar çok çeşitli görüntüleri temsil eden zengin özellikler öğrenmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan VGG19, ResNet50, EfficientNetB0, DenseNet201 ve Xception modellerinin ana özellikleri aşağıda verilmiştir. Bu transfer öğrenme mimarileri genellikle RGB görüntülerini (224,224,3) şeklinde girdi olarak kabul ederler.

VGG19, Oxford Üniversitesi Görsel Geometri Grubu tarafından 2014 yılında önerilen evrişimli sinir ağı tabanlı bir modeldir. 16 evrişim katmanı, 5 MaxPool katmanı, 3 Tam bağlı katman ve 1 SoftMax katmanından oluşan 19 derin katmana sahiptir [26].

ResNet50, Kaiming He tarafından 2015 yılında önerilen evrişimli sinir ağı tabanlı bir modeldir. 48 evrişim katmanı, 1 MaxPool katmanı ve 1 Ortalama havuz katmanından oluşan 50 derin katmana sahiptir [27].

EfficientNet, ilk olarak 2019 yılında Tan ve Le tarafından tanıtılmıştır. Imagenet ve yaygın görüntü sınıflandırma transferi öğrenme işlerinde yüksek doğruluğa ulaşan en verimli evrişimli sinir ağı tabanlı modelleri arasında yer almaktadır [28].

DenseNet-201, ResNet modelinden etkilenen Huang ve ark. tarafından 2017'de önerilmiştir. DenseNet-201 de 7x7 evrişim filtresi ve ardından ilk katman olarak 3x3 MaxPool,

arada 3 ortalama havuz katmanı olan 196 evrişimsel katman ve 1 çıkıştan oluşan toplam 201 katmana sahiptir [29].

Xception, derinlemesine ayrılabilir kıvrımlar içermesi dışında Inception mimarisine dayanmaktadır. Bu model 36 katman derinliğindedir ve 2017'de Google, Inc.'den Francois Chollet tarafından önerilmiştir. Model, varsayılan şekliyle (299,299,3) RGB görüntüleri girdi olarak kabul eder. Ayrıca (224,224,3) şeklindeki görüntüleri de kabul edebilir. Derinlemesine ayrılabilir evrişimler, her filtre kanalını her bir giriş kanalıyla saran derinlemesine bir evrişimi ve üretilen çıkış kanallarını 1x1 filtre ile sararak birleştiren noktasal bir evrişimi birleştiren evrişimlerdir [30].

Önerilen modellerin, gradyan inişinin optimizasyonu için bir algoritma olan Uyarlamalı Moment Tahminini (Adaptive Moment Estimation, ADAM) kullanmıştır. Bu yöntem, çok sayıda veri örneği veya parametre içeren problemlerle uğraşırken oldukça etkilidir. ADAM, geleneksel stokastik gradyan inişi ile aynı değildir. Esasen ADAM, stokastik amaç fonksiyonlarının gradyan tabanlı optimizasyonu için bir algoritmadır. Kök Ortalama Kare Yayılımı (RMSProp) ve Uyarlanabilir Gradyan Algoritması (AdaGrad) olmak üzere iki gradyan inişi uzantısının avantajlarını birleştirir ve farklı parametreler için bireysel uyarlanabilir öğrenme oranlarını hesaplar. ADAM, sinir ağının her ağırlığı için öğrenme oranını uyarlamak için birinci ve ikinci gradyan anlarının tahminlerini kullanır. Anları tahmin etmek için ADAM, mevcut bir mini grupta değerlendirilen gradyan üzerinde hesaplanan üstel olarak hareketli ortalamaları kullanır:

$$m_t = \beta_1 m_{t-1} + (1 - \beta_1) g_t \quad (4)$$

$$v_t = \beta_2 v_{t-1} + (1 - \beta_2) g_t^2 \quad (5)$$

m_t ve v_t gradyanların sırasıyla birinci momentinin (ortalama) ve ikinci momentinin (merkezlenmemiş varyans) tahminleri olduğunda, g mevcut mini gruptaki gradyandır ve betalar algoritmanın yeni hiper parametreleridir. m_t ve v_t , 0'ların vektörleri olarak başlatıldığından, ADAM ile, özellikle ilk zaman adımlarında ve özellikle bozunma oranları küçük olduğunda (yani, β_1 ve β_2 , 1'e yakın olduğunda) sıfıra doğru eğilimli olduklarını gözlemlenmektedir. Bu eğilimin düzeltilmesi için birinci ve ikinci an tahminleri hesaplanmaktadır:

$$\hat{m}_t = \frac{m_t}{1 - \beta_1^t} \quad (6)$$

$$\hat{v}_t = \frac{v_t}{1 - \beta_2^t} \quad (7)$$

ADAM son olarak, öğrenme oranı (η) ve bir ϵ sabiti kullanarak parametreleri iyileştirmek için Denklem (8)'deki ağırlık (θ) güncelleme işlemini yapmaktadır.

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \frac{\eta}{\sqrt{\hat{v}_t + \epsilon}} \hat{m}_t \quad (8)$$

Bu makalede β_1 için 0,9, β_2 için 0,999 ve ϵ için 10^{-8} değerleri kullanılmıştır [24].

Önerilen modelin mimarisi

Bu makalede önerilen modellerin daha uygulanabilir, etkili ve sağlam hale getirilmesi için kullanılan modellerin katmanlarına ekstra katmanlar eklenerek önceden eğitilmiş transfer öğrenme temel mimarileri daha da geliştirmiştir. Şekil 2’de, önerilen modelin diyagramı gösterilmektedir. Düzleştirilmiş katman, önceki CNN katmanlarından çıkarılan özellikler alır ve bunları 1 boyutlu (tek boyutlu) bir diziye dönüştürür ve daha sonra girdi olarak sonraki yoğun katmana beslenir. Yoğun katmandaki her nöron, önceki katmanlardaki diğer tüm nöronlardan girdiler alarak onları yoğun bir şekilde birbirine bağlı hale getirir. Son olarak, önerilen modelin performansını iyileştirmek için ek katmanlarda hiper parametrelerin düzenlenmesi ve etkili ince ayarı yapılmıştır. Önerilen modelde kullanılan hiper parametreler Tablo 1’de listelenmiştir. Ayrıca model, görüntüleri üç sınıflı bir kategoride sınıflandırmak için aktivasyon için SoftMax fonksiyonunu kullanmaktadır. Önerilen modelde 1,656,195 eğitilebilir ve 20,074,688 eğitilemez olmak üzere toplam 21,730,883 parametre vardır.

Tablo 1. Önerilen modelde kullanılan hiper parametreler.

Hiper parametreler	Değer/türü
Giriş boyutu	224x224
Ağırlıklar	ImageNet ağırlıkları
Optimize Edici	ADAM
Batch boyutu	64
Öğrenme oranı	0.001 (varsayılan)
Epochs (Eğitim turu)	50

Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, CT görüntülerinden Covid-19’u sınıflandırmak için transfer öğrenme temelli mimarilerin kullanımı önerilmiştir. Önerilen yöntem iki farklı veri seti üzerinde incelenmiştir. Her iki veri setinin de üç sınıfı vardır. [18]’deki veri seti toplam 17104, [19]’daki veri seti ise toplam 19685 görüntüden oluşmaktadır. Her iki veri seti de %80 eğitim kümesi (eğitim ve doğrulama) ve %20 test kümesi olarak ayrılmıştır. Eğitim kümesindeki verilerin %80’i eğitim, %20’si ise doğrulama için ayrılmıştır.

Önerilen model, Windows 10 işletim sistemi üzerinde Intel Core i7-3820 3,60GHz CPU, Nvidia GTX 1080 Ti 11GB GPU ve 32 GB RAM içeren bir iş istasyonunda uygulanmıştır. Modelin uygulaması, TensorFlow [31] üzerinde Keras kütüphanesi [32] kullanılarak Python 3.7’de gerçekleştirilmiştir.

Performans metriklerinin değerlendirilmesi

Bu çalışmada önerilen mimarinin performansını değerlendirmek için dört metrik kullanılmıştır. Değerlendirmeler doğruluk (accuracy, Acc), duyarlılık (sensitivity, Sen), kesinlik (precision, Pre), F1-skoru olup bu metrikler için matematiksel formüller sırasıyla (9), (10), (11) ve (12)’deki denklemlerde sunulmuştur.

$$Acc = \frac{(TP + TN)}{(TP + TN + FN + FP)} \quad (9)$$

$$Pre = \frac{TP}{(TP + FP)} \quad (10)$$

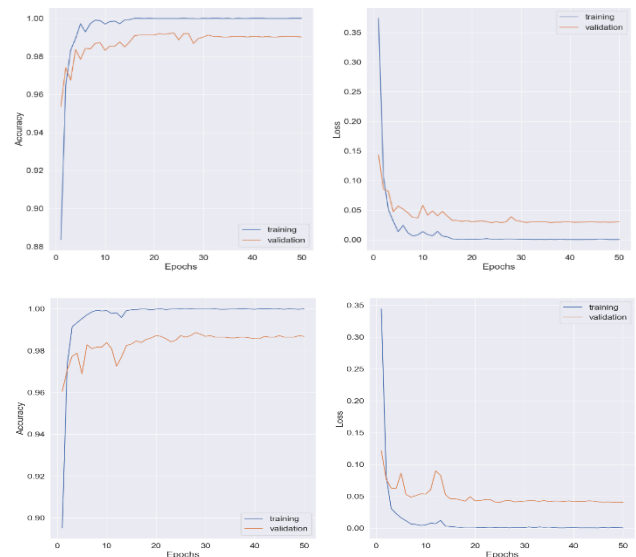
$$Sen = \frac{TP}{(TP + FN)} \quad (11)$$

$$F1 - score = \frac{(2 * Pre * Sen)}{(Pre + Sen)} \quad (12)$$

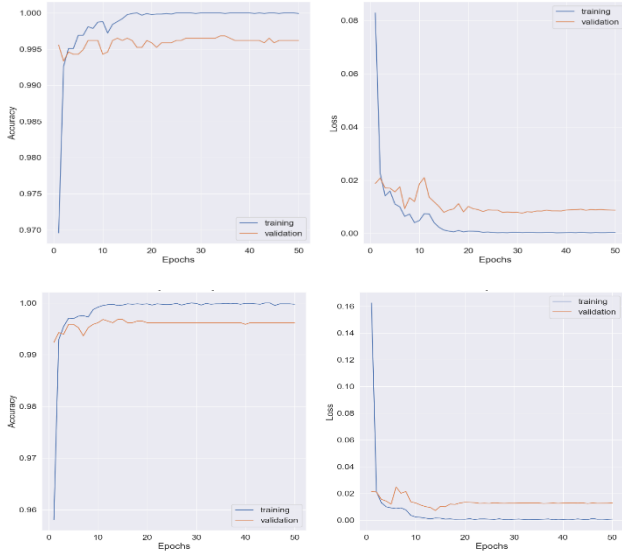
Modelin veri kümeleri üzerindeki performansı

Bu bölümde, önerilen modellerimizin performans sonuçları veri setleri üzerinden değerlendirilmektedir. Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5, her bir veri kümesi için 50 tur (epoch) üzerinden eğitim ve doğrulama işlemlerinin doğruluğunu ve kaybını göstermektedir. Gösterilen grafikler en yüksek doğruluğa erişen iki yöntem için olup, diğer yöntemler de benzer grafiklere sahiptir. Eğitim sürecinde kullanılan modellerin ilk 10 turda daha yüksek doğruluğa yakınsadığı ve 50 tura ulaşana kadar geliştiği grafiklerden görülmektedir.

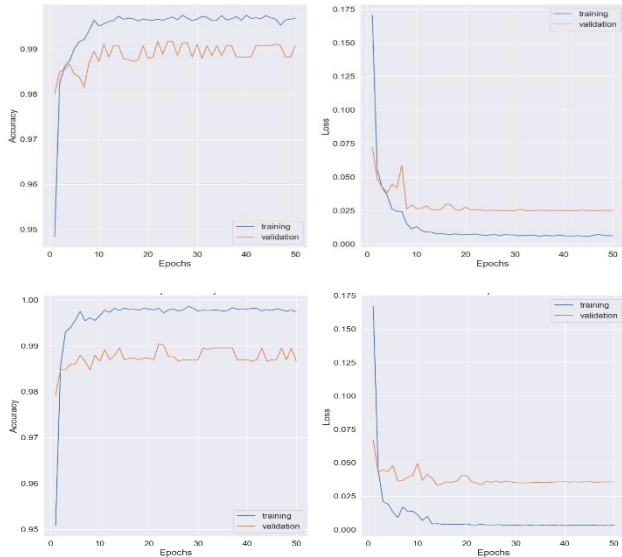
Bilgisayarlı tomografi görüntüleri içerisinde Covid-19 hastalığı olanların tespit edilip, sınıflandırılması için ilk olarak [18]’deki veri seti kullanılmıştır. Öncelikle her bir transfer öğrenme modeli bu veri seti üzerinde test edilmiş olup, elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Önerilen 5 farklı modelin ortalama doğruluğu %97,42 olmuştur. En yüksek sınıflandırma doğruluğuna %98.04 ile VGG19 erişirken, DenseNet201 modeli %98.01 ile ikinci en iyi sonuca ulaşmıştır. Xception modeli, %95,35 ile nispeten en düşük doğruluğa erişen model olmuştur. Tablo 2’deki başarımların ölçütlerinin elde edildiği karışıklık matrisleri Şekil 6’da sunulmuştur.



Şekil 3. Önerilen modelin [18]’deki veri seti için tur sayısına karşı eğitim doğruluğu ve hata grafiği VGG19 (üstte), DenseNet201 (altta).



Şekil 4. Önerilen modelin [19]'daki veri setinin orijinal versiyonu için tur sayısına karşı eğitim doğruluğu ve hata grafiği ResNet50 (üstte), EfficientNetB0 (altta).



Şekil 5. Önerilen modelin [19]'daki veri setinin ön-işlemeli versiyonu için tur sayısına karşı eğitim doğruluğu ve hata grafiği VGG19 (üstte), DenseNet201 (altta).

Tablo 2. Önerilen modellerin [18]'deki veri seti üzerindeki sonuçları (%).

Model	Acc	Pre	Sen	F1 score
VGG19	98.04	98.06	98.04	98.04
ResNet50	97.84	97.86	97.84	97.84
EfficientNetB0	97.84	97.86	97.84	97.84
DenseNet201	98.01	98.04	98.01	98.01
Xception	95.35	95.40	95.35	95.35

Normal	1363	15	1
Covid-19	45	1469	5
CAP	0	1	522

VGG19

Normal	1357	22	0
Covid-19	76	1442	1
CAP	0	1	522

ResNet50

Normal	1358	20	1
Covid-19	49	1469	1
CAP	2	1	520

Normal	1365	13	1
Covid-19	53	1465	1
CAP	0	0	523

EfficientNetB0

DenseNet201

Normal	1325	52	2
Covid-19	99	1417	3
CAP	2	1	520

Xception

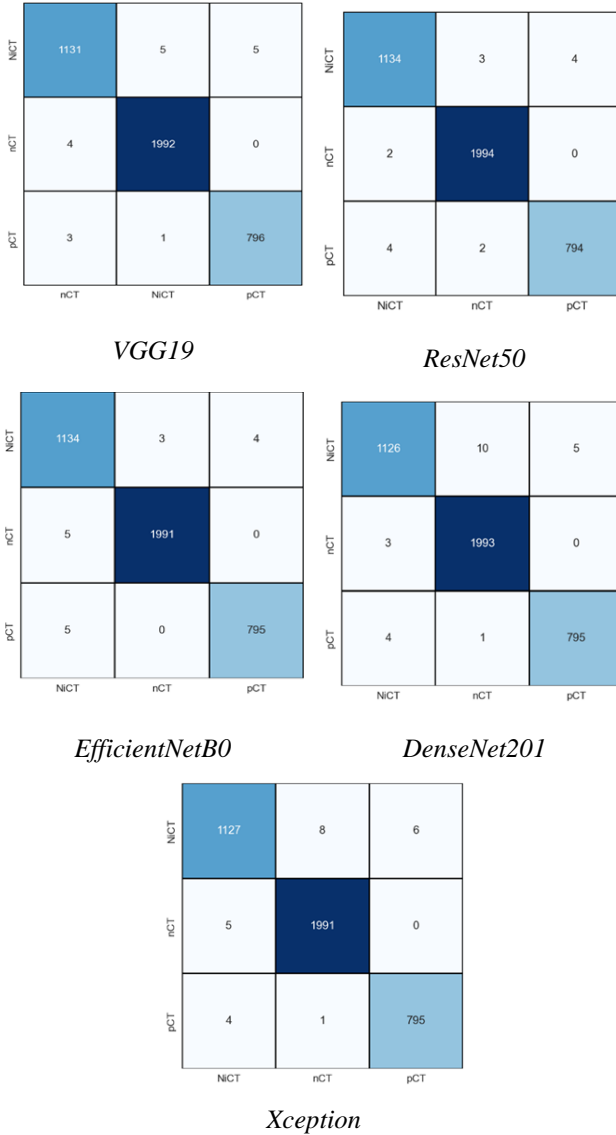
Şekil 6. [18]'deki veri seti üzerinde yapılan testlerde elde edilen karışıklık matrisleri

Tablo 3. Önerilen modellerin [19]'daki veri setinin orijinal versiyonu üzerindeki test sonuçları.

Model	Acc	Pre	Sen	F1 score
VGG19	99.54	99.54	99.54	99.54
ResNet50	99.62	99.62	99.62	99.62
EfficientNetB0	99.57	99.57	99.57	99.57
DenseNet201	99.42	99.42	99.42	99.42
Xception	99.39	99.39	99.39	99.39

Önerilen modeller ikinci olarak, [19]'daki veri setinin orijinal versiyonu üzerindeki test edilmiş ve test sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'teki sonuçlar incelendiğinde 5 farklı transfer öğrenme modelinin ortalama %99,51 doğruluk değeriyle çok iyi bir sınıflandırma işlemi yaptığı görülmektedir. ResNet50 ve EfficientNetB0 modelleri sırasıyla %99,62 ve %99,57 ile en yüksek doğruluklara ulaşmışlardır. VGG19 modeli %99,54 ile önemli bir başarıya

ulaşırken, bir önceki veri setinde olduğu gibi bu veri setinde de en düşük doğruluk Xception modeli ile elde edilmiştir. Tablo 3'teki başarımlar ölçütlerinin elde edildiği karışıklık matrisleri Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. [19]'daki veri setinin orijinal versiyonu üzerinde yapılan testlerde elde edilen karışıklık matrisleri

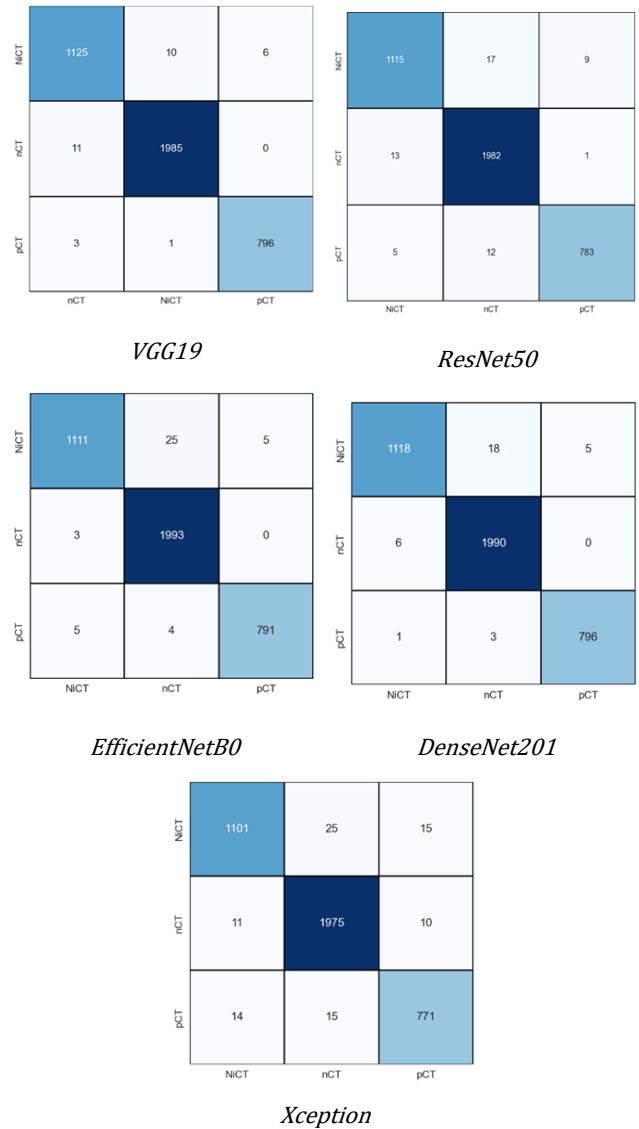
Bu makale kapsamında son olarak [19]'daki veri setinin ön işlem yapılmış görüntülerinin olduğu versiyon üzerindeki sınıflandırma başarımları değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen test sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Önerilen modellerin [19]'daki veri setinin ön-ışlenmiş versiyonu üzerindeki test sonuçları.

Model	Acc	Pre	Sen	F1 score
VGG19	99.21	99.21	99.21	99.21
ResNet50	98.55	98.55	98.55	98.55
EfficientNetB0	98.93	98.94	98.93	98.93
DenseNet201	99.16	99.16	99.16	99.16
Xception	97.71	97.71	97.71	97.71

Ortalama %98,71 doğruluk değerine ulaşan modeller içerisinde en yüksek doğruluk başarımları %99,21 ve %99,16 ile sırasıyla VGG19 ve DenseNet201 modellerine aittir. Xception modeli %97,71 doğruluk değeri ile en düşük başarıma erişen model olmuştur. Tablo 4'teki başarımlar ölçütlerinin elde edildiği karışıklık matrisleri Şekil 8'de sunulmuştur.

Önerilen yöntemin sonuçları Tablo 5'te benzer çalışmalarla kıyaslanmıştır. Literatürdeki güncel çalışmalarla kıyaslandığında, önerilen yöntemin çok yüksek sonuçlara ulaştığı görülmektedir. [18]'deki veri seti için VGG19 ile elde edilen sonuçlar kabul edilebilir düzeyde iyidir. [19]'deki ön-ışlenmiş veri seti ile elde sınıflandırma sonuçları kullanılan VGG19, ResNet50, EfficientNetB0, DenseNet201 ve Xception modellerinin hepsi kıyaslanan literatür yöntemlerin tamamından daha yüksektir. [19]'deki veri setinin ön-ışlemeli görüntüleri için elde edilen sonuç [9] dışındaki bütün çalışmalardan iyidir.



Şekil 8. [19]'daki veri setinin ön-ışlemeli versiyonu üzerinde yapılan testlerde elde edilen karışıklık matrisleri

Tablo 5. Önerilen modelin güncel literatür çalışmalarıyla karşılaştırma sonuçları.

Yöntem	Model	Veri seti	Ön-işlem	Acc (%)
Javadi ve ark. [8]	WCNN4	[19]	Var	99.03
Balaha ve ark. [9]	VGG19	[19] ve iki farklı veri setinin birleşimi	Var	99.33
Ahamed ve ark. [10]	ResNet50V2	[18]	-	83.60
Ahamed ve ark. [10]	ResNet50V2	[18]	Var	99.01
Baghdadi ve ark. [11]	SeNet154	[18]	Var	98.00
Zheng ve ark. [12]	3D DeCoVNet	Özel veri seti	Var	90.80
Xu ve ark. [13]	ResNet-18	Özel veri seti	Var	86.70
Song ve ark. [14]	ResNet50	Özel veri seti	Var	93.00
Wang ve ark. [15]	GoogleNet	Özel veri seti	Var	89.50
Alsharman ve ark. [16]	GoogleNet	Covid-CT [33]	Var	82.14
Neha ve ark. [17]	CNN	[19]	Var	99.10
Önerilen Yöntem	VGG19	[18]	-	98.04
	VGG19	[19]	-	99.54
	ResNet50	[19]	-	99.62
	EfficientNetB0	[19]	-	99.57
	DenseNet201	[19]	-	99.42
	Xception	[19]	-	99.39
	VGG19	[19]	Var	99.21

Sonuç

Covid-19, ortaya çıkışından bu yana çok sayıda ölüme neden olmuş ve hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, görüntülerden Covid-19'u tespit etmek ve sınıflandırmak amacıyla CNN tabanlı önceden eğitilmiş transfer öğrenme mimarilerine sahip VGG19, ResNet50, EfficientNetB0, DenseNet201 ve Xception modelleri iki farklı CT Covid-19 veri seti üzerinde incelenmiştir. Sonuçlar, önerilen yöntemlerin [18] ve [19]'daki veri setleri için sırasıyla %97,42 ve %99,54 ortalama doğruluk, %98,04 ve %99,62 en iyi bireysel doğruluk değerleriyle mükemmel bir performanslar elde ettiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar güncel literatür çalışmalarıyla kıyaslandığında daha iyi başarımlar elde edilmiştir.

VGG19 ve DenseNet201 modelleri iki veri setine ait iki test kümesi için en iyi sonuçları vermiştir. Bu iki model, [19]'daki veri setinin orijinal test kümesi için ise literatürdeki sonuçlardan daha iyi sonuçlara erişirken, bu makaledeki diğer yöntemlere yakın sonuçlar vermiştir. Xception modeli tüm test kümeleri için en düşük sınıflandırma doğruluğuna erişen yöntemdir. Buna rağmen Xception modeli [19]'daki veri setinin orijinal test kümesi için ise literatürdeki yöntemlerde daha yüksek doğruluğa sahiptir.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

“Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur”. “Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır”

Yazar katkıları

‘**Al-Areqi**’: Çalışma konsepti ve tasarım, Veri toplama, Verilerin analizi, Taslağın oluşturulması. ‘**Konyar**’: Çalışma konsepti ve tasarım, Verilerin analizi ve yorumlanması, Taslağın oluşturulması, Revizyon

Teşekkür

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Yazılım Mühendisliği Bölümü Yazılım Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı'nda (STAR Lab) gerçekleştirilmiş olup Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. **Proje Numarası: 2021-2751.**

Kaynaklar

- [1] F. Al-Areqi, M. Z. Konyar, “Effectiveness evaluation of different feature extraction methods for classification of covid-19 from computed tomography images: A high accuracy classification study”, *Biomedical Signal Processing and Control*, vol 76, 103662, 2022.

- [2] A. Widders, A. Broom, and J. Broom, "SARS-CoV-2: The viral shedding vs infectivity dilemma" *Infection, disease & health*, vol. 25, no 3, pp. 210–215, 2020.
- [3] A Ozyigit, "Understanding Covid-19 transmission: The effect of temperature and health behavior on transmission rates", *Infection, disease & health*, vol. 25, no 4, pp. 233–238, 2020.
- [4] M. A. Shereen et. al. "COVID-19 infection: Origin, transmission, and characteristics of human coronaviruses", *Journal of advanced research*, vol. 24, pp. 91–98, 2020.
- [5] J. Cui, F. Li and Z. L. Shi, "Origin and evolution of pathogenic coronaviruses", *Nature reviews. Microbiology*, vol. 17, no. 3, pp. 181–192. 2019.
- [6] S. J. Dancer, "Covid-19 exposes the gaps in infection prevention and control", *Infection, disease & health*, vol. 25, no. 4, pp. 223–226, 2020.
- [7] W. Wang, et al., "Detection of SARS-CoV-2 in Different Types of Clinical Specimens" *JAMA*, vol. 323, no. 18, pp. 1843–1844, 2020.
- [8] S. JavadiMoghaddam and H. Gholamalinejad, "A novel deep learning based method for COVID-19 detection from CT image" *Biomedical signal processing and control*, vol. 70, 102987, 2021.
- [9] H. M. Balaha, E. M. El-Gendy and M. M Saafan, "CovH2SD: A COVID-19 detection approach based on Harris Hawks Optimization and stacked deep learning", *Expert systems with applications*, vol. 186, 115805, 2021.
- [10] K. U. Ahamed, et al., "A deep learning approach using effective preprocessing techniques to detect COVID-19 from chest CT-scan and X-ray images", *Computers in biology and medicine*, vol. 139, 105014, 2021.
- [11] N. A. Baghdadi, et al., "An automated diagnosis and classification of COVID-19 from chest CT images using a transfer learning-based convolutional neural network", *Computers in biology and medicine*, 144, 105383. 2022.
- [12] C. Zheng, et al., "Deep learning-based detection for COVID-19 from chest CT using weak label", *MedRxiv*, 2020.
- [13] X. Xu, et al., "A deep learning system to screen novel coronavirus disease 2019 pneumonia", *Engineering*, vol. 6, no 10, pp. 1122–1129, 2020.
- [14] Y. Song, et al., "Deep learning enables accurate diagnosis of novel coronavirus (COVID-19) with CT images", *IEEE/ACM Trans. Comput. Biol.Bioinform.* vol. 18, no. 6, pp. 2775–2780, 2021.
- [15] S. Wang, et al., "A deep learning algorithm using CT images to screen for Corona Virus Disease (COVID-19)", *European radiology*, vol. 31, no. 8, pp. 6096–6104, 2021.
- [16] N. Alsharman and I. Jawarneh, "GoogleNet CNN neural network towards chest CT coronavirus medical image classification", *J. Comput. Sci.* vol. 16, no. 5, pp. 620–625, 2020.
- [17] Neha, K., Joshi, K. P., Jyothi, N. A., & Kumar, J. V. (2021). Preliminary Detection of COVID-19 Using Deep Learning and Machine Learning Techniques on Radiological Data. *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, 79-88.
- [18] M. Maftouni, "Large COVID-19 CT scan slice dataset", Available: <https://www.kaggle.com/datasets/maedemaftouni/large-covid19-ct-slice-dataset> (Accessed on: March. 28, 2022).
- [19] A. Z. Bin-Aziz, 'CT Scans for COVID-19 Classification', Available: <https://www.kaggle.com/datasets/azaemon/preprosse-d-ct-scans-for-covid19> (Accessed on: March. 28, 2022).
- [20] O. S. Lih, et al., "Comprehensive electrocardiographic diagnosis based on deep learning", *Artificial intelligence in medicine*, vol. 103, 101789, 2020.
- [21] J. Dekhtiar, et al., "Deep learning for big data applications in CAD and PLM – Research review, opportunities and case study", *Computers in Industry*, vol. 100, 227–243, 2018.
- [22] M. Rahimzadeh and A. Attar, "Detecting and counting pistachios based on deep learning", *Iran J Comput Sci*, vol. 5, pp. 69–81, 2022
- [23] R. Yamashita, et al. "Convolutional neural networks: an overview and application in radiology", *Insights Imaging*, vol. 9, pp. 611–629, 2018.
- [24] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, "Deep learning", *MIT press*, 2016.
- [25] F. Al-Areqi and M. Z. Konyar, "Comparative Analysis of Machine Learning and Deep Learning Based Covid-19 Classification Methods", *International Marmara Sciences Congress (Imascon 2022 Spring)*, İzmit, Türkiye, 13-14 May 2022.
- [26] K. Simonyan, A. Zisserman, "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition", *3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015*, San Diego, CA, USA, May 2015.
- [27] K. He, X. Zhang, S. Ren and J. Sun, "Deep Residual Learning for Image Recognition," *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Dec. 2016.
- [28] M. Tan, Q. V. Le, "EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks", *36th International Conference on Machine Learning, ICML 2019*, June 2019.
- [29] G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten, K. Q. Weinberger, "Densely connected convolutional networks", *30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017*, Jan. 2017.
- [30] F. Chollet, "Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions", *30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017*, Jan. 2017.
- [31] M. Abadi et al., "{TensorFlow}: A System for {Large-Scale} Machine Learning", *In 12th USENIX symposium on operating systems design and implementation (OSDI 16)*, pp. 265-283, 2016.
- [32] F. Chollet, et al., "Keras: Deep Learning for humans". Available: <https://github.com/fchollet/keras>. (Accessed on: March. 28, 2022).
- [33] Yang, X., He, X., Zhao, J., Zhang, Y., Zhang, S., & Xie, P. (2020). COVID-CT-dataset: a CT scan dataset about COVID-19. arXiv preprint arXiv:2003.13865.



Doğal dil işleme ve derin öğrenme algoritmaları ile makine dili modellemesi

Modelling the machines' language with natural language processing and deep learning algorithms

Ali Dayan¹, Atıncı Yılmaz^{2*}

¹ Beykent Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği A.B.D., alidayan93@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5924-2299>

² Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, atinciyilmaz@beykent.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0038-7519>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 16 Haziran 2022
Revizyon 6 Temmuz 2022
Kabul 20 Temmuz 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

Makine Dili,
Derin Öğrenme,
Doğal Dil İşleme,
Evrişimsel Sinir Ağları (CNN)

ÖZ

İnsanlar ve tüm canlılar için dil, iletişim konusunda en önemli unsurlardan biridir. Literatürde dillerin oluşumu ve doğal dil işleme süreçleri ile ilgili oldukça fazla sayıda çalışmalar yapılmış; bu çalışmalarda analiz, yaklaşım ve yöntem açısından farklılıklar içerdiği görülmüştür. Çalışmada literatüre katkı olarak makinelerin kendi dilini oluşturabilmesi için bir model önerilmiştir. Bu bakış açısı ile makinelerin kendi aralarında insanlar gibi kendi dilleri ile iletişim kurarak tüm süreçlerin verimliliğinde artış olacağı düşüncesine katkıda bulunulmuştur. Makinelerin kendi dillerini üretebilmesi adına bir yaklaşım geliştirilmesi amacı ile çalışmada evrişimli derin sinir ağları (CNN) yöntemi ile canlıların seslerini sınıflandırarak ayırt etmesi ve yeni sesler üretebilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada, kullanılacak olan alfabenin ne olacağı sistem tarafından karar verilmesi sağlanmış; daha sonrasında Yinelemeli Yapay Sinir Ağları, Mel Frekans Cepstral Katsayısı ve Dinamik Zaman Çözgü metodolojileri ile birlikte kullanılarak benzer sesler oluşturulmuş ve canlılar ilgili sesler ile isimlendirilmiştir. Benzer çalışmalardan farklı olarak Kaggle açık veri deposundan "Audio Cats and Dogs" veri setindeki ses dosyaları üzerinden elde edilen MFCC görsel bir veri olarak kullanılmıştır. Bunun yanında CNN ağları ile model desteklenerek daha iyi performans elde edilmesi sağlanmıştır. Çalışmada, önerilen yöntem kullanılarak %91 oranında doğruluk oranına ulaşılmıştır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16 June 2022
Received in revised form 6 July 2022
Accepted 20 July 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Machine Language,
Deep Learning,
Natural Language Processing,
Convolutional Neural Networks (CNN)

Doi: 10.24012/dumf.1131565

* Sorumlu Yazar

ABSTRACT

Language is one of the most important elements of communication for people and all living things. A large number of studies have been conducted in the literature on the formation of languages and natural language processing processes. It has been observed that these studies contain differences in terms of analysis, approach and method. In the study, a model has been proposed for machines to create their own language as a contribution to the literature. With this point of view, it has been contributed to the idea that the efficiency of all processes will increase by communicating with each other in their own language like humans. With the aim of developing an approach for machines to produce their own languages, it is aimed to distinguish the sounds of living things by classifying them and to generate new sounds by using convolutional deep neural network (CNN) method. In the study, the applied alphabet was decided by the system. In next step, Regenerative Artificial Neural Networks were used together with Mel Frequency Cepstral Coefficient and Dynamic Time Warp methodologies to create similar sounds and the living things were named with their respective sounds. Unlike similar studies, a visual data was applied which was converted from the audio files that was obtained from Kaggle open data repository "Audio Cats and Dogs" dataset. In addition, the model was supported with CNN networks to achieve effective performance. In the study, an accuracy rate of 91% was achieved by using the proposed method.

Giriş

Canlılar tüm organizasyonların sağlanması adına haberleşmeye ihtiyaç duymaktadır. Her canlı bu durumu gerçekleştirmek adına farklı şekilde yöntem uygular. İnsanlar için iletişimi ve haberleşmeyi sağlayan en etkili yol, dili kullanarak konuşmaktır. Bu beceri yazının icadı, gelişmesi ile kazanılmıştır. Doğal dil işleme (NLP), konuşmaların ve/veya metinlerin işlenerek makineler tarafından anlamlandırılabilme sürecini ifade etmektedir. Tüm doğal diller farklı özelliklere sahip olduğundan ötürü her dilin farklı analize ve yaklaşıma ihtiyacı bulunmaktadır. Makineler ile doğal dil işleme yapılabilmesi için danışmanlı, yarı-danışmanlı, danışmansız ve takviyeli öğrenme yöntemlerinden birinin kullanılması gerekmektedir. Alan Turing'in çalışmasında ortaya koyduğu "Makineler düşünebilir mi?" sorusu doğal dil işleme çalışmalarının başlangıcı olarak sayılmaktadır. Turing "Makine ve Zeka" isimli makalesinde makinelerin ne kadar iyi rasyonel davranış sergileyebildiğini sıyanan Turing Testi'ni anlatmıştır [1]. 60'lı yıllarda ise Terry Winograd SHRDLU isimli doğal dilleri anlayan bir program tasarlamıştır [2]. Searle, Çin Odası isimli deney ile Çince bilgisi olmayan bir makinenin Çince çıktı üretmesini sağlamıştır [3]. Doğal dil işleme ile ilgili çalışmalar, yapay zeka ve makine öğrenmesi yöntemlerinin gelişmesi ve popülerleşmesi ile birlikte daha yaygın hale gelmiştir. Cihazların birbiri ile iletişime geçerek etkileşim halinde olabilmeleri birçok karmaşık işlemi çok daha kolay hale getirebilecektir. Buzdolabının içerisindeki ürünlerin bitme noktasına geldiğini saptadıktan sonra ilgili cihazlar ile iletişime geçerek bitmek üzere olan ürünlerin siparişinin verilmesini sağlaması, bu tip bir süreçte örnek olabilecektir. Bu çalışmada, önerilen yapay zeka destekli doğal dil işleme metodolojisi ile ses dosyalarının işlenerek örnek bir vaka çalışması uygulanmıştır. Ayrıca çalışmada, "Doğal Dil İşleme ile Makinelerin Kendi Dilini Modellemesi" isimli çalışmada kullanılan algoritmalar ve yaklaşım bu makalenin ortaya konmasını sağlamıştır [4]. Çalışmada, kedi ve köpek seslerinin farklı varyasyonlarını içeren "Kaggle Audio Cats and Dogs" veri seti kullanılmıştır [5]. Ayrıca, özellik çıkarımının yapılması ve sınıflandırma için Dinamik Zaman Bükme Algoritması (DTW), Yinelemeli Yapay Sinir Ağları (RNN) ve Mel-Frekansı Kepstral Katsayısı (MFCC) yöntemleri çalışmada uygulanmıştır.

Literatürdeki benzer çalışmaların temelinde ses dalgalarının çözümlenerek konuşmadan yazıya dönüştürülmesi çalışmalarının yoğun olarak bulunduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalarda odağın daha çok yazım yanlışlarının ortaya konması, kontrol edilmesi ve düzeltilmesi, sesli asistan, dil çevirisi gibi anlamsal ve biçimsel çözümleme alanlarında olduğu görülmektedir.

Rani ve ark., Doğal Dil İşleme (NLP) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) Kullanan Ses Kontrollü Ev Otomasyon Sistemi isimli çalışmalarında, artırılmış gerçeklik ve doğal

dil işleme kullanarak ev gereçlerinin birlikte uyum içerisinde çalışmasını sağlayacak, maliyet odaklı tam ses kontrolü sağlayan proje geliştirmişlerdir [6]. Var olan akıllı ev sistemlerinin çoğunun ev gereçlerine sadece açma, kapama komutu verdiğini belirtmişlerdir. Alexakis ve ark., çok katmanlı bir mimari ile doğal dil işleme, ses tanıma ve IoT teknolojilerini kullanarak akıllı ev kontrolü sağlamışlardır [7]. IoT Aracısı, doğal dil işlemeyi (NLP) kullanarak metin veya sesli komutları anlayabilen bir sohbet botu entegre etmektedir. Mass ve ark., cihazdan cihaza iletişimi kolaylaştırmak, mobil ağı gereksiz veri aktarımından kurtarmak, uçtan uca uygulamaların yanıt verme sürecini hızlandırmak ve geleneksel hizmetlerin sağlanmasını merkezi olmayan hale getirmek için potansiyel bir strateji üzerine çalışmışlardır [8]. Almahdi, yaptığı çalışmada; denetimsiz öğrenme mantığını kullanarak dil benzerliğinin otomatik olarak saptanmasını ortaya koymuştur [9]. Toprak, çalışmasında doğal dil işleme yöntemlerini kullanarak Helmholtz Prensibi ve Terim Frekansı - Ters Belge Frekansı (TF-IDF - Term Frequency Inverse Document Frequency) ile İngilizce bir doküman üzerinden İngilizce sözlüğün otomatik şekilde ortaya çıkartılmasını sağlamıştır [10]. Büyükköz, çalışmasında haber metinlerini ve kullanıcı yorumlarının sınıflandırılması için doğal dil işleme ile birlikte derin öğrenme yöntemlerini birlikte kullanmıştır [11]. Özcan, seyahat ve turizm alanında doğal dil işleme süreci yöntemlerini kullanarak seyahat asistanı oluşturulmasını çalışmasında hedeflemiştir [12]. Gupta ve ark., görme engelli kişilere yardımcı olunması amacı ile derin öğrenme ve doğal dil işleme tekniklerini kullanarak görüntü girdisine karşılık kısa açıklama çıktısı verilmesini sağlamışlardır [13]. Anand ve ark., sosyal ağlarda rahatsız edici dil kullanımının tespit edilmesi için özellik seçimi ve grup sınıflandırma için derin öğrenme ve doğal dil işleme yöntemlerini birlikte kullanmışlardır [14]. Çıkarılan özellikler, naive bayes ve destek vektör makinelerinin birlikte kullanımı ile ortaya konan hibrit bir model ile sınıflandırılmıştır. Kasthuri ve ark., uzun-kısa süreli bellek algoritması ve doğal dil işleme algoritmaları ile sohbet robotu ortaya koymuşlardır [15]. Chotirat ve ark., konuşma etiket kategorisine dayalı özellik seçimi problemi için lojistik regresyon, naive bayes ve destek vektör makinesi yöntemleri uygulayarak bu yöntemlerin etkinliklerini karşılaştırmıştır [16]. Shahi ve ark., çocukların fiziksel istismarının tespit edebilmek için doğal dil işleme ve derin öğrenme yöntemlerini birlikte kullanmışlardır [17]. Alhogail ve ark., sahte e-postaların tespiti için makine öğrenmesi ve doğal dil işleme yöntemlerini birlikte kullanarak grafiksel evrişim ağı önermişlerdir [18]. Mumcuoğlu ve ark., yüksek mahkeme sonuçlarının tahmini için hukuk alanında doğal dil işleme ile birlikte makine öğrenmesi ve derin öğrenme mimarilerini kullanarak, modellerin performans sonuçları karşılaştırılmıştır [19]. Mendez ve ark., doğal dil işleme ve makine öğrenmesi algoritmalarını birlikte kullanarak finans haberleri üzerine zamansallık tespitini gerçekleştirmişlerdir [20]. Çalışma neticesinde finansal alanda karar verme konusunda önerdikleri yöntemin başarılı bir piyasa taraması yapabileceğini ifade

etmişlerdir. Hodorog ve ark., yerleşim yerlerinde olay tespiti için makine öğrenme algoritmaları ile birlikte doğal işleme yöntemini birlikte kullanmıştır [21]. Çalışmada regresyon analizi ile olaylar ile memnuniyet arasındaki ilişkiler doğrulanırken; en yüksek doğruluk oranı %88.5 ile elde edilmiştir. Takahashi ve ark. derin evrişimli sinir ağları kullanarak akustik olay tanıma için uzun süreli frekans yapısına uygun büyük giriş yapısına sahip bir mimari önermişlerdir [22]. Çalışmada, akustik olay sınıflandırması için 28 olaydan oluşan veri seti kullanılmıştır. Elde edilen verilerin bir kısmı olan kedi ve köpek sesleri ile Kaggle veri deposundaki veri seti meydana getirilmiştir [5]. Önerilen mimari ile veri büyüme olmaksızın 80.3%, veri büyüme ile 92.8% doğruluk oranı performansına ulaşıldığı, çalışmada ifade edilmiştir.

Araştırılan benzer çalışmalar neticesinde, çalışmada ses işleme yöntemleri ile doğal dil işleme metodolojilerinin harmanlanma düşüncesi ile RNN, MFCC ve DTW yöntemlerinin beraber uygulanması hedeflenmiştir. Bu uygulama sonucunda, canlı seslerine karşılık yeni seslerin oluşturulması ve türetilmesi düşünülmüştür. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak ses dosyaları görsel veriye dönüştürülerek evrişimsel sinir ağları yöntemleri ile model desteklenecektir. Bunun yanında seslerin görselleştirilmesinden önce Fourier Dönüşümünden faydalanılarak seslerin ayrıştırılması sağlanacaktır.

İlk olarak benzer çalışmalar incelenerek literatürde yer alan ses işleme ve doğal dil işleme ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın diğer kısımlarında ise yapay zeka ile doğal işleme süreçleri ile birlikte ses işleme adımları açıklanmış; son olarak makinenin kendi alfabetini tercih etmesi ile birlikte özellik seçimi uygulanarak köpek ve kedi sesleri için ses türetilmesini sağlayan modelleme ortaya konmuştur.

Materyal ve Metot

Veri seti

Çalışmada “Kaggle Audio Cats and Dogs” veri seti kullanılmıştır [5, 22]. Veri seti WAV formatındaki ses dosyalarından oluşmaktadır. Veri setinde 164 adet kedi sesi ve 113 adet köpek sesi bulunmaktadır. Kedi seslerinin toplam uzunluğu 1323 saniye ve köpek sesleri ise 598 saniyedir. Tüm ses dosyaları değişken uzunlukta ve 16 KHz ses içermektedir. Çalışmada eğitim ve test seti için K çapraz sorgulama yöntemi uygulanarak K=5 için %70 eğitim, %30 test seti belirlenerek en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Yapay zekâ ve doğal dil İşleme metodları

Yapay zeka, doğadaki herhangi bir rasyonel davranışı benzetim yapmayı amaçlayan; ayrıca içerisinde bir çok farklı yaklaşım ve algoritmayı barındıran yöntemler topluluğudur [23]. Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme yöntemleri yapay zekanın alt dallarından iki farklı yaklaşımdır. Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme arasındaki en temel fark derin öğrenmenin öznelilik çıkarımını kendisinin yapabilme becerisidir. Doğal dil işleme (NLP), yapay zeka metodolojilerinin yardımı ile ortaya konan yazılım vasıtası ile ses veya metin gibi dilsel

fonksiyonların analizi ile bir sonuç alınmasını sağlayan bilim dalıdır [24]. Yapay zeka ve doğal dil işleme yöntemlerinin bütünleşik olarak kullanılması Anlamsal Ağ ve Ayrıştırma Ağacı yaklaşımları ile kullanılmaktadır. Anlamsal ağ, cümlelerin anlamsal karşılığına odaklanmaktadır [24]. Ayrıştırma ağacı yaklaşımında ise biçimsel ve dilbilgisel olarak doğru sıralamaya ulaşmak amaçlanmaktadır [25]. Doğal dil işleme sürecindeki temel hedef dilin makine tarafından anlaşılabilir bu duruma tepki ile cevap verebilmesinin sağlanmasıdır.

Derin Öğrenme

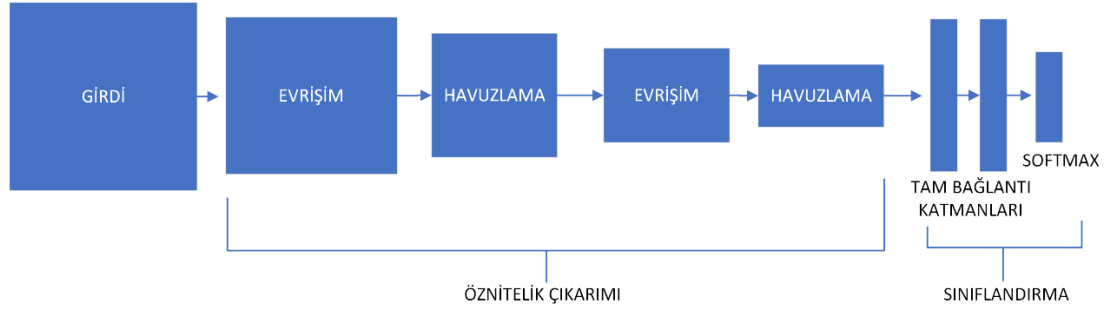
Derin öğrenme, yapay zeka disiplinin altında yer alan yaklaşımlardan biridir. Makine öğrenme algoritmalarında öğrenme süreci içerisinde öznelilik bilgisinin sisteme aktarılması gerekirken, derin öğrenmede farklı olarak öznelilik çıkarımını yöntem kendisi yapmaktadır. Derin öğrenme mimarisi içerisinde en önemsiz özellikler ile başlayarak, katman katman ilerleyerek en önemli özelliklerin çıkarımı ile model öznelilik çıkarımını tamamlamaktadır. Yapısal olarak her katmanda çok katmanlı yapay sinir ağını barındırmaktadır. Bu nedenle öğrenme yeteneği oldukça güçlü; büyük ve karmaşık verilere sahip kompleks problemlerin çözümünde oldukça başarılıdır.

Evrişimsel Sinir Ağları - CNN

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte hem verinin yapısı değişmekte hem de bilgisayarların fonksiyonları ve donanımsal gücü artmaktadır. Yapısal olmayan verilerin analizinin çok daha zor olması ile birlikte; video, görüntü gibi yapısal olmayan verilerin başarılı şekilde algılanması, sınıflandırılması Evrişimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Network - CNN) ile mümkündür. Evrişimsel sinir ağı, bir girdi üzerinden görüntü veya nesne tespitini yapabilen derin öğrenme algoritmalarından biridir [26]. Yöntem kullanılarak görüntü içerisinde ortak özellikler yakalanarak kümeleme veya etiket bilgisi üzerinden sınıflandırma yapılabilmektedir. Mimari olarak evrişimsel sinir ağları görüntü ya da videoları girdi verisi halinde modele almaktadır. Bu girdinin modele sunulması için belirli format halinde ve matris formunda olması gerekmektedir. Görüntüye uygulanan filtre ile renkli veya siyah-beyaz olarak görüntü üzerinden veriler elde edilmektedir. Filtrelerin uygulanması neticesinde çıktı olarak farklı yeni matrisler ortaya çıkmaktadır. Elde edilen bu veriler girdi olarak alınarak katmanlarda elde edilen özellik çıkarımları ile modelin tespit neticesi hesaplanmaktadır.

Evrişimli sinir ağları evrişim, havuzlama, tam bağlantı katmanlarından oluşmaktadır (Şekil 1). Evrişim katmanında filtre, girdi üzerinde tarama yaparak evrişimin uygulanmasını sağlar. Evrişim işlemi neticesinde öznelilik haritası elde edilmektedir. Havuzlama katmanı ise evrişimden sonra ki örnekleme aşamasıdır. Bu katman içerisinde elde edilen değerler üzerinden aritmetik ortalama alma veya en büyük değeri alma gibi seçimler ile özellik seçimi için örnekleme yapılmaktadır. Tam bağlantı katmanları ise hedef sınıfın en iyi şekilde hesaplanması ve optimizasyonun yapılması için kullanılmaktadır. Bunun

yanında, doğrusal birim aktivasyon fonksiyonu (ReLU) ve Softmax aktivasyon fonksiyonu evrimsel sinir ağlarında en sık kullanılan aktivasyon fonksiyonlarıdır.



Şekil 1. Evrimsel sinir ağı-CNN mimarisi

Bir evrimsel sinir ağı oluştururken ardışık şekilde evrişim katmanlarını ve aktivasyon fonksiyonlarını mimariye yerleştirmek gerekmektedir. Daha sonrasında ise havuzlama katmanları ve tam bağlantı katmanı mimariye eklenir (Şekil 1).

Uzun Kısa Süreli Bellek - LSTM

LSTM (Uzun Kısa Süreli Bellek – Long Short Term Memory), geri bildirim bağlantılarına sahip olan yinelemeli sinir ağı mimarili bir derin öğrenme algoritmasıdır [27]. Bu yaklaşımda, öğrenme süreci içerisinde saklanan parametrik değerler değiştirilmez.

Bu gibi yetenekleri sayesinde özellikle zaman serisi problemleri için iyi sonuçlar üreten bir derin öğrenme yöntemidir.

Mimari olarak LSTM, önemli ve önemsiz bilginin belirlendiği kapılara sahiptir. Bu kapılar sayesinde önemli olanların hatırlanması, önemsiz olan bilgilerin ise unutulması sağlanmış olur. Unutma kapısı, unutulacak olan bilginin kararını vermektedir. Eğer ağ, önemsiz bir bilgi olarak öngörüyor ise ilgili girdinin ağırlığı 0 olarak atanır. Bu durumun neticesinde önceki katmanda bulunan aktivasyon fonksiyonundan elde edilen sonuçlar 1'e doğru yakınsanıyorsa tutulacak olan; aksi durumda 0'a doğru ise unutulacak olan bilgi olarak tanımlanmaktadır. LSTM mimarisinde, unutma kapısının ardından girdi kapısı gelmektedir. Tıpkı unutma kapısında yapılan işlem gibi ilk olarak bilginin tutulma kararı elde edilir. Sonrasında ise tutulan bilgi ile ağı düzenlenmesi sağlanır. LSTM mimarilerinde bilginin taşınması görevini hücre durumu birimi yapmaktadır. Hücre durumu birimi, tutulan bilginin diğer hücelere taşınmasını sağlayarak veri akışını meydana getirir. Son olarak ise çıktı kapısı sayesinde tahmin yapılarak sıradaki katmana iletilecek olan değer karar verilir.

DeneySEL Çalışmalar

Dile ait biçimsel kurallar, dilbilgisi ve alfabe dil işleme süreçlerinde makinenin kendi dilini oluşturabilmesi için gereklidir. Çalışmada uygulama için python programlama dili kullanılarak, jupyter notebook ortamında modeller geliştirilmiştir. Çalışmada kullanılan alfabe tercihi için uygulanan algoritma Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 2'de gösterilen ve uygulanan algoritma ile Latin, Kiril, Yunan, Hangil, Hanzi, Kana, Arap, İbrani, Kuzey Hint, Güney Hint, Etiyopya, Tana, Kanada Hece gibi alfabeler arasından tercih yapılması sağlanmıştır. Bu süreçte veriler binlik olarak bölütlenmiş ve ağırlık değerleri verilmiş; bölüm sonlarında ise ağırlıklar güncellenmiştir. Bin iterasyon sonucunda 0.17 ağırlık değeri ile makinenin Latin alfabesini tercih ettiği belirlenmiştir.

Çalışmada ses dosyalarında eşik noktaları 0.2 ile -0.2 olarak kararlaştırılmıştır. Bu değerlerden büyük veya küçük olan sesler başlangıç noktaları olmuştur. Ses işleme için t zamanındaki genlik denklem (1) ile bulunmaktadır. Denklemde faz ofseti, (ϕ) sembolü ile, frekans, (f) notasyonu ile ve t anındaki genlik (y(t)) olarak ifade edilmiştir.

$$y(t) = A \sin(2\pi ft + \phi) \quad (1)$$

Ses dosyası üzerinden özellik çıkarımlarının yapılabilmesi için Python programlama dili ile kullanılabilen Librosa kütüphanesi tercih edilmiş; veri setinde bulunan 22050 ses 0.4 alfa değeri ile dalga formları hesaplanmıştır. Bu işlem adımından sonra ise Fourier Dönüşümü kullanılarak seslerin şiddet spektrumunun çıkartılması yapılmaktadır. Denklem 2'de faz ofseti (ϕ), frekans (f) ve t anındaki genlik (y(t)) olmak üzere Fourier dönüşüm denklemi verilmiştir. Fourier Dönüşümü kullanılarak ses verisi frekans tabanlı hale getirilmiştir.

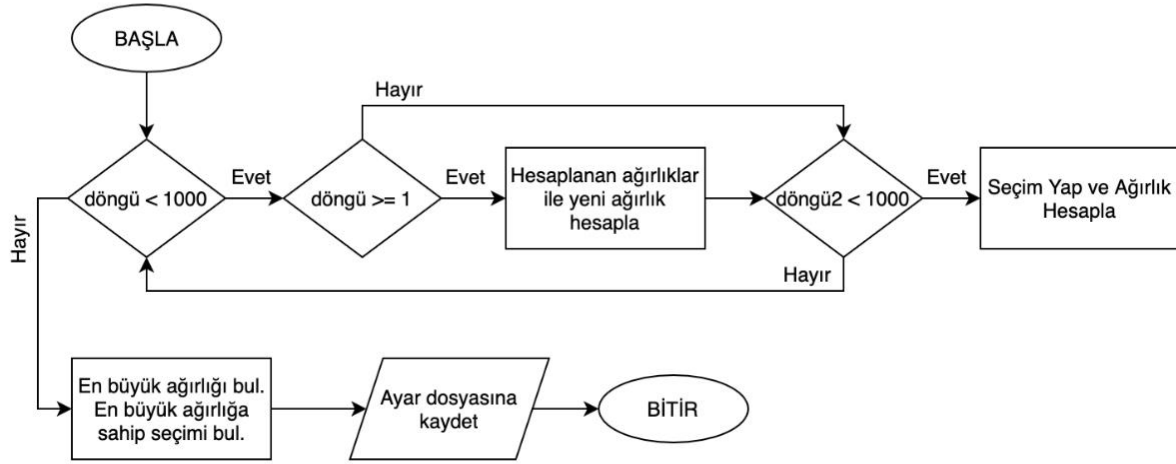
$$s = A_1 \sin(2\pi f_1 t + \phi_1) + A_2 \sin(2\pi f_2 t + \phi_2) \quad (2)$$

Kısa Zaman Fourier Dönüşümü adımının ardından seslere MFCC katsayısı yöntemi uygulanmıştır. MFCC katsayı yöntemi konuşma ve dil tanıma problemleri için en nitelikli özellik olduğu ifade edilmektedir [11]. Son olarak ise genlik zarfı, spektral ağırlık merkezi, 0 geçiş oranı ve spektral akış hesaplamalarının ardından ses verilerinin işlenmesi için makine öğrenmesi yöntemleri uygulanmaktadır. Şekil 3'de MFCC algoritması, Şekil 4'te ise makine öğrenme algoritmaları uygulanma algoritması gösterilmiştir.

Karmaşık periyodik sesin farklı frekanslarda salınan sinüs dalgalarının toplamına ayrıştırılmasını sağlayan Fourier dönüşümü, makine öğrenmesi algoritması ile desibel/frekans bilgisi elde edilmiştir. Fourier dönüşümü sırasında zaman bilgisi kaybolduğu için farklı aralıklarla birden çok Fourier dönüşümü hesaplanarak, Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü

(STFT) kullanılmış ve desibel/frekans bilgisi ile zaman bilgisi de elde edilmiştir. Çalışmada geleneksel yaklaşımların aksine görüntü işleme algoritmaları, ses işleme algoritmaları ile kullanılmıştır. STFT uygulan ses dosyalarının genlik

spektrumlarının logaritması alınmış, Mel ölçeklemesi ve kosinüs dönüşümü uygulanarak MFCC hesaplanmıştır.



Şekil 2. Alfabe seçim algoritması

MFCC bilgisi ile ses dosyasının bir görüntüsü elde edilmiş olmaktadır. Bu görüntüye daha iyi yakınsama ve degradenin kaybolma olasılıklarının azaltılması için doğrultulmuş lineer birim (Rectified Linear Unit-ReLU) uygulanmıştır.

Bunun yanı sıra çok katmanlı yapay sinir ağlarından daha yüksek hesaplama gücü olan; ayrıca daha az parametre sayısına sahip görüntü ve ses işleme konularında oldukça güçlü olan evrişimli sinir ağları (CNN) önerilen mimariye eklenmiştir.

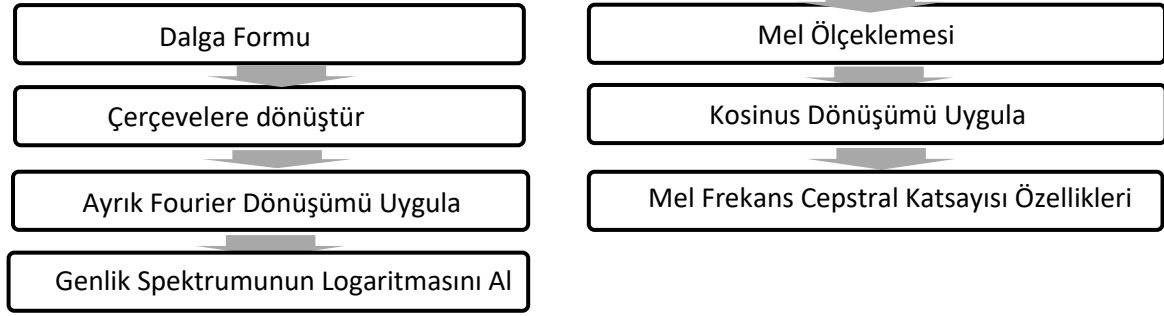
CNN algoritmasında görüntü olarak Spektrogram/MFCC, x ve y eksenleri olarak zaman ve frekans, piksel değeri yerine ise genlik kullanılmıştır. CNN modelinin kullanımının ardından mimarinin üzerine sonraki adımları tahmin edebilen, ses ve müzik uygulamaları için ideal bir çözüm olan takviyeli yapay sinir ağı (recurrent neural network-RNN) eklenmiştir. RNN ağlarını eğitime güçlüğü, ReLU katmanının ve degradelerin hata alma ihtimalini azaltmak için aktivasyon fonksiyonu olarak tanh (hiperbolik tanjant) kullanılmıştır. RNN ağları uzun dönem hafızaya sahip değildir ve uzak geçmiş bilgisini tutmamaktadır. Uzun dönem desenleri öğrenebilmesi için RNN ağlarının özel bir türü olan uzun-kısa dönem hafıza (long-short time memory-LSTM) modele eklenmiştir. Modelin eğitilmesi sona erdikten sonra canlıları ayırt etme ve yeni gelen sesleri anlamlandırabilmesi için seslerin karşılaştırılması dinamik zaman çözgü yaklaşımı (dynamic time wrapping-DTW) algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de evrişimli

yapay sinir ağları destekli ağ topolojisi katman özellik ve değerleri gösterilmiştir.

Bulgular

Özellik çıkarımı yapılan veri setinden seçilen eğitim verisine ilk uygulanan katman ReLU katmanıdır. Veri setinin eğitim öncesi doğruluk oranı 0.2380 ve kayıp oranı 52.8339 iken eğitim sonrası doğruluk oranı 0.9819 ve kayıp oranı 0.0572 olarak elde edilmiştir. Sinir ağındaki aşırı uyum sorunu olduğu görülmektedir. Sinir ağındaki aşırı uyum sorununun çözümü için her bir ReLU katmanından sonra nöron bırakma uygulanmıştır. Her eğitim esnasında bilgisayardan rastgele eğitim seti seçmesi istenmiştir. Nöron bırakma uygulaması öncesi doğruluk oranı 0.2206 ve kayıp oranı 60.2963 iken eğitim sonrası doğruluk oranı 0.8507 ve kayıp oranı 1.0290 olarak değişmiştir. Şekil 5'de ReLU katmanlarının test ve hata değerlendirme grafikleri gösterilmiştir.

Özellik çıkarımı algoritması tamamlanan verilere CNN mimarisinin uygulanması ile kayıp oranlarında düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir. CNN ağları öncesi doğruluk oranı 0.1165 ve kayıp oranı 2.5465 iken CNN mimarisi uygulandıktan sonra doğruluk oranı 0.8939 ve kayıp oranı 0.2994 olmuştur. Şekil 6'da CNN modelinin, Şekil 7'de ise LSTM modeline ait test ve hata değerlendirme grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Mel frekans cepstral katsayısı oluşturma algoritması

Tablo 1. Evrişimli yapay sinir ağları destekli ağ topolojisi katman özellik ve değerleri.

Katman	Çıktı, Şekil	Değer
Dönüşüm 2D (Conv2D)	(Yok, 11, 11, 32)	320
Maks_Havuzlama2D (MaxPooling)	(Yok, 6, 6, 32)	0
İş_Parçacığı_Normalleştirme (Batch)	(Yok, 6, 6, 32)	128
Dönüşüm_2D_1 (Conv2D)	(Yok, 4, 4, 32)	9048
Maks_Havuzlama2D_1 (MaxPooling)	(Yok, 2, 2, 32)	0
İş_Parçacığı_Normalleştirme1 (Batch)	(Yok, 1, 1, 32)	128
Dönüşüm_2D_2 (Conv2D)	(Yok, 1, 1, 32)	4128
Maks_Havuzlama2D_2 (MaxPooling)	(Yok, 1, 1, 32)	0
İş_Parçacığı_Normalleştirme2 (Batch)	(Yok, 1, 1, 32)	128
Düzleştirilmiş (Flatten)	(Yok, 32)	0
Yoğunluk (Dense)	(Yok, 64)	16448
Bırakma (Dropout)	(Yok, 64)	0
Yoğunluk 1 (Dense)	(Yok, 10)	650

Toplam değer: 16842

Eğitilebilir değer: 16650

Eğitilemez değer: 192

Elde edilen bulgular incelendiğinde ReLU katmanlarının aşırı uyumluluk sorunu giderildiğinde, doğruluk oranlarının düştüğü ve hata oranlarının çok fazla yükseldiği görülmüştür. ReLU katmanları CNN mimarisi ile desteklendiğinde doğruluk oranında kısmi bir artış hata oranında ise büyük ölçüde düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

CNN destekli önerilen model RNN'nin özel bir türü olan LSTM ile desteklendiğinde doğruluk oranlarının yükseldiği kayıp oranında ise kısmi bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. 30 iterasyon sonucunda CNN mimarisi ile desteklenen model için doğruluk oranı 0.8939 ve kayıp oranı 0.2994 olarak elde edilmiştir. LSTM ile desteklenen modelde ise aynı iterasyon sonunda doğruluk oranı 0.9151 ve kayıp oranı 0.2358 olmuştur (Tablo 2).

Tablo 2. Yöntemlerin performans karşılaştırması.

1. Sütun	Doğruluk	Kayıp Oranı
LSTM	0.91	0.23
CNN	0.89	0.29

Bulgular sonucunda, makine dili ve doğal dil işleme modellemesinde ses dosyalarında daha kararlı sınıflandırma yapılabilmesi için ReLU ile özellik çıkarımı yapılan veri setlerinin, görüntü işlemede kullanılan CNN ve ses işlemede kullanılan LSTM algoritmalarının birlikte kullanılarak bir modelin önerilmesine ve ardından önerilen

modelin eğitilmesine karar verilmiştir. Veri seti modele sunulup modelin eğitimi bitirildikten sonra, bilgisayarın kendi seçtiği alfabe ile ürettiği sesler ve eğitilen veri seti, DTW algoritması ile karşılaştırılmıştır. Bilgisayarın ürettiği sesler İngiliz alfabesinde bulunan A-Z arası harfler a, aa, aaa, aaaa şeklinde P(32,1), P(32,2), P(32,3) ve P(32,4) permütasyonları ile sınırlandırılmıştır. Sesler karşılaştırılırken, Öklid eşleşmesinde zaman/frekans değerleri karşılıklı olarak eşleştirilirken, DTW algoritmalarında birçok nokta tek bir nokta ile kıyaslanmaktadır. Böylece özellikle konuşma sırasındaki duraklamalar ses şiddetinin yükselip, alçalması, yavaş veya hızlı konuşmalardan daha az etkilenmektedir.

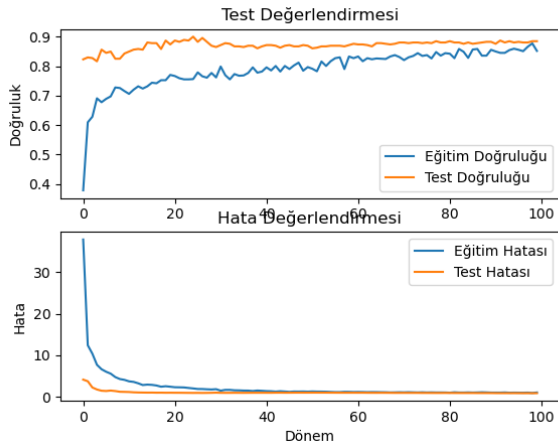
Son olarak çalışmada kullanılan "Kaggle Audio Cats and Dogs" veri setini literatürde modellemelerde kullanan çalışmalar incelenmiş; çalışmalarda elde edilen doğruluk oranları karşılaştırılması Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması.

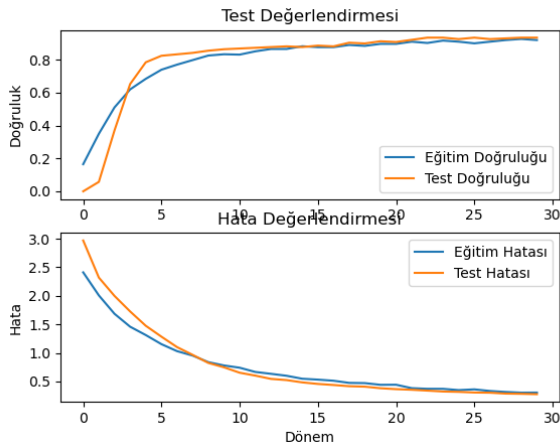
Çalışma	Yöntem	Doğruluk Oranı
Waasiu ve ark. [28]	YSA	0.88
Cengil ve ark. [29]	CNN	0.83
Pandeya ve ark. [30]	CNN	0.91
Önerilen yöntem	LSTM-NLP	0.91



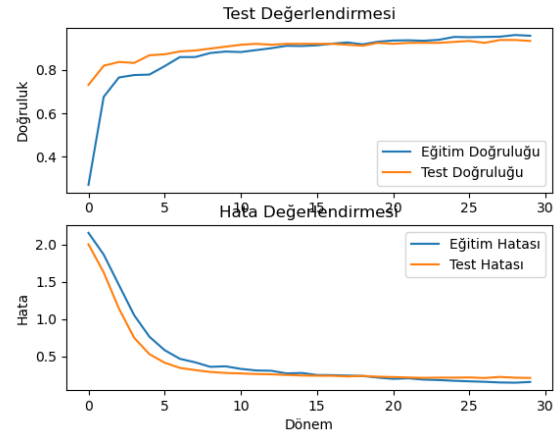
Şekil 4. Ses verileri için geleneksel makine öğrenmesi akışı



Şekil 5. ReLU katmanları değerlendirme grafikleri



Şekil 6. CNN değerlendirme grafikleri



Şekil 7. LSTM değerlendirme grafikleri

Tartışma ve Sonuç

Çalışmada ilk olarak literatürdeki benzer çalışmalarda olduğu gibi ses dosyaları üzerinden özellik çıkarımı yapılmış; DTW ile seslerin grafikleri oluşturulmuştur. Dil işleme ve ses işleme eğitim süreçleri neticesinde makine Latin alfabesini tercih etmiş ve bu dil üzerinden makinenin kelimeler üretmesi sağlanmıştır. Bunun yanında uygulanan modelde seslerin ayrıştırılmasının sağlanması için Fourier Dönüşümü uygulanmıştır. Bu formül neticesinde kayıp olan zaman verisi Kısa Zaman Fourier Dönüşümü ile tekrar elde edilmiştir. Çalışmada benzer çalışmalardan farklı olarak ses dosyaları üzerinden bulunan MFCC, görsel bir veri olarak kullanılmıştır. Bunun yanında CNN ağları ile model desteklenerek daha iyi performans elde edilmesi sağlanmıştır. Ayrıca MFCC katmanında yer alan ardışık şekilde olan verilerin daha efektif olarak işlenmesi için uzun dönem hafıza yeteneği olan RNN-LSTM ağları, mimariye katılmıştır.

Sonuç olarak kedi sesine en yakın ses makine tarafından "QTKP" karakterleri ile üretilmiştir. Netice olarak üretilen ses ile benzerlik farkı 56823.36 olarak elde edilmiştir. "XOXO" karakterlerinden üretilen ses ise köpek sesine 26862.43 fark değeri ile en fazla benzerliği olan ses olmuştur. Çalışmada DTW, CNN, RNN, MFCC yöntemleri kullanılarak ses işleme, dil işleme ve makine öğrenmesi algoritmaları birlikte uygulanmış ve makinenin kendi dili için kelime üretmesi sağlanmıştır. Bu minvalde, makine

veri setinde öğretilen kedi ve köpek seslerini tanıyarak sınıflandırmıştır. Bunun yanında kedi ve köpek seslerine yaklaşık sesler türetmiştir. Çalışmada uygulanan modeller arasında en yüksek doğruluk oranı ve en az kayıp değeri RNN-LSTM ile uygulanan önerilen mimari ile ulaşılmıştır.

Elde edilen bulgular neticesinde makine dilinin oluşturulabilmesi için derin öğrenme destekli doğal dil işleme yönteminin uygulanabilirliği ortaya konmuştur. Uygulanan her iki derin öğrenme mimarisi de doğal dil işleme ile elde edilen sonuçların iyileştirilmesini desteklemiştir. Ayrıca ses dosyalarının görsel veriye dönüştürülerek CNN ve LSTM ağları üzerinde modellemede kullanılması da literatüre katkılardan biri olmuştur.

Çalışmanın kısıtlarından biri kullanılan kütüphanenin sadece İngilizce ile ilgili kelimeler türetebilmesidir. Bunun yanında çalışmada çoğul ekler belirlenmediğinden ötürü tekil kelimeler üretilmiştir. Ayrıca ses dosyaları üzerinden canlı sayısı tespiti, gramer özelliklerinden sıfat, zarf, bağlaç tespitleri de bulunmamaktadır. Daha büyük veri setleri, daha farklı canlılara ait sesler kullanılması halinde çalışma daha da geliştirilerek doğal dil ve yapay zeka alanlarına yeni katkılar eklenebileceği düşünülmektedir.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek bulunmamaktadır. İlgili makale, yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Ayrıca Kaggle açık veri deposunda bulunan hazır veri seti üzerinden veriler ile modelleme yapılmıştır.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Teşekkür

Yazarlar, çalışmaya değerli zamanlarını ayırarak katkılarını sunan dergi editörleri ve hakemlere teşekkür etmektedir. Çalışma, Dr.Öğr.Üyesi Atınç Yılmaz'ın danışmanlığında yürütülen, Ali Dayan'ın Beykent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği A.B.D. "Doğal Dil İşleme ile Makinelerin Kendi Dilini Modellemesi" isimli yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Yazar Katkıları

Tüm yazarlar makaleye yeterli derecede katkıda bulunmuştur. İlgili makale yüksek lisans tezinden oluşturulmuştur. Yazarlar yüksek lisans tez öğrencisi ve tez danışmanıdır.

- Çalışma konsepti ve tasarım (D, Y)
- Veri toplama (D)
- Verilerin analizi ve yorumlanması (D, Y)
- Taslağın oluşturulması (D)
- Revizyon (Y)

Kaynakça

- [1] A. M. Turing, "Computing machinery and intelligence," *Mind*, vol. 59, no. 236, pp. 433-460, 1950.
- [2] T. Winograd, "Five lectures on artificial intelligence," 1st ed., Stanford University, 1974.
- [3] J. Searle, "Minds, brains and programs," *The Behavioral and Brain Sciences*. 1980.
- [4] A. Dayan, "Doğal dil işleme ile makinelerin kendi dilini modellemesi," M.S. thesis, Dept. Computer. Eng., Beykent Univ., İstanbul, Türkiye, 2022.
- [5] Kaggle audio cats and dogs dataset [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/mmmoreaux/audio-cats-and-dogs>, Accessed on: Aug. 10, 2021
- [6] P. J. Rani, J. Bakthakumar, B. P. Kumar, U. P. Kumaar and S. Kumar, "Voice controlled home automation system using natural language processing(NLP) and internet of things(IoT)," in *Proc. ICONSTEM*, 2017, pp. 368-373.
- [7] G. Alexakis, S. Panagiotakis, A. Fragakakis, E. Markakis, E. and K. Vassilakis, "Control of smart home operations using natural language processing, voice recognition and IoT technologies in a multi-tier architecture," *Designs*, vol. 3, no. 3, pp. 32, 2019.
- [8] J. Mass, S. N. Srirama, H. Flores, and C. Chang, "Proximal and social-aware device-to-device communication via audio detection on cloud," In *Proc. 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, 2014, pp. 143-150.
- [9] M. E. Almahdi, "Doğal dillerin zaman ve konuma bağlı değişimlerinin nicel olarak ölçülmesi," M.S. thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2020.
- [10] A. Toprak, "Doğal dil işleme ile ingilizce otomatik sözlük oluşturma," M.S. thesis, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [11] B. Büyüköz, "Doğal dil işlemede bağlam odaklı derin öğrenme yöntemlerinin transfer kapasitesinin metin sınıflandırması problemi üzerinden incelenmesi," M.S. thesis, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2016.
- [12] D. G. Özcan, "Doğal dil işleme tekniklerinin incelenmesi ve seyahat-turizm sesli asistanı için Türkçe varlık ismi tanıma aracı geliştirilmesi," M.S. thesis, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, Türkiye, 2020.
- [13] S. C. Gupta, N .R. Singh, T. Sharma, A. Tyagi and R. Majumdar, "Generating image captions using deep learning and natural language processing," in *Proc. 9th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (ICRITO)*, 2021, pp. 1-4.

- [14] M. Anand, K. B. Sahay, M. A. Ahmed, D. Sultan, R. R. Chandan and B. Singh, "Deep learning and natural language processing in computation for offensive language detection in online social networks by feature selection and ensemble classification techniques," *Theoretical Computer Sciences*, in Press, 2022.
- [15] E. Kasthuri and S. Balaji, "Natural language processing and deep learning chatbot using long short term memory algorithm," *Materials Today: Proceedings*, in Press, 2022.
- [16] S. Chotirat, and P. Meesad, "Part-of-speech tagging enhancement to natural language processing for Thai wh-question classification with deep learning," *Heliyon*, vol. 7, no. 10, e08216, 2021.
- [17] N. Shahi, A. K. Shahi, R. Phillips, G. Shirek, D. M. Lindberg, and S. L. Mpulton, "Using deep learning and natural language processing models to detect child physical abuse," *Journal of Pediatric Surgery*, vol. 56, no. 12, pp. 2326-2332, 2021.
- [18] A. Alhogail and A. Alsabih, "Applying machine learning and natural language processing to detect phishing email," *Computers & Security*, vol. 110, 102414, 2021.
- [19] E. Mumcuoğlu, C. E. Öztürk, H. M. Özakaş and A. Koç, "Natural language processing in law: Prediction of outcomes in the higher courts of Turkey," *Information Processing & Management*, vol. 58, no. 5, 102684, 2021.
- [20] S. G. Mendez, F. A. Perez, A. B. Villa and F. J. G. Castano, "Detection of temporality at discourse level on financial news by combining Natural Language Processing and Machine Learning," *Expert Systems with Applications*, vol. 197, 2022.
- [21] A. Hodorog, I. Petri, and Y. Rezgui, "Machine learning and natural language processing of social media data for event detection in smart cities," *Sustainable Cities and Society*, In Press, 2022.
- [22] N. Takahashi, M. Gygli, B. Pfister, and L.V. Gool, "Deep convolutional neural networks and data augmentation for acoustic event recognition," In *Proc. 17th Annual Conference of the International Speech Communication Association (INTERSPEECH)*, pp. 2982-2986, 2016.
- [23] A. Yılmaz, "Yapay Zekâ,". Kodlab Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 2020.
- [24] E. Brill, and R. J. Mooney, "An Overview of Empirical Natural Language Processing," *AI Magazine*, vol. 18, no. 4, 1997.
- [25] K. R. Chowdhary, "Fundamentals of Artificial Intelligence," Springer, 2020.
- [26] M. Momeny, A. A. Neshat, M. A. Hussain, S. Kia, M. Marhamati, A. Jahanbakhshi and G. Hamarneh, "Learning-to-augment strategy using noisy and denoised data: Improving generalizability of deep CNN for the detection of Covid-19 in X-ray images," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 136, 104704, 2021.
- [27] H. Ma, and S. Liang, "Development of the GLASS 250-m leaf area index product (version 6) from MODIS data using the bidirectional LSTM deep learning model," *Remote Sensing of Environment*, vol. 273, 112985, 2022.
- [28] A. Waasiu, B. A. Ilham and A. Lawi, Klasifikasi Audio "Cats and Dogs Menggunakan Model Artificial Neural Network Multi-perceptron," *Proceeding KONIK*, vol. 5, no. 1, pp. 56-61, 2021.
- [29] E. Cengil, A. Çınar and Z. Güler, "A GPU-based convolutional neural network approach for image classification," In *Proc. 2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*, pp. 1-6, 2017.
- [30] Y. R. Pandeya, D. Kim, and J. Lee, "Domestic cat sound classification using learned features from deep neural nets," *Applied Sciences* vol. 8, 1949, 2018.



Gemi jeneratörlerinin senkronizasyonu üzerine bir benzetim çalışması

A simulation study on the synchronization of ship generators

Durukan Erdoğan^{1*}, Kenan Yiğit², Faruk Aydın³, Bora Acarkan⁴

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, durukan.erdogan@std.yildiz.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2395-7668>

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, kyigit@yildiz.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4165-4081>

³ Marmara Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, faruk.aydin@marmara.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6738-6775>

⁴ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, acarkan@yildiz.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5697-3157>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 22 Haziran 2022
Revizyon 31 Ağustos 2022
Kabul 3 Eylül 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

Gemi elektriği, dizel jeneratör,
senkronizasyon

ÖZ

Gemilerin çoğunda elektrik enerjisi ihtiyacı dizel jeneratör grupları ile karşılanmaktadır. Gemilerin türüne bağlı olarak gemilerde farklı sayılarda ve kapasitelerde jeneratör grupları bulunabilir. Gemilerde elektrik enerjisi ihtiyacının birden fazla jeneratör ile karşılanması durumunda diğer jeneratörün senkronize bir şekilde devreye alınması gerekmektedir. Bu süreç hem otomatik hem de manuel olarak yürütülebilmektedir. Bu çalışmada, bir gemide iki jeneratörün senkronizasyon süreci Matlab&Simulink programında bir benzetim çalışması yapılarak incelenmiştir. Sonrasında, senkronizasyon sürecinde jeneratör baralarındaki elektriksel parametrelerin değişimleri yorumlanmıştır. Bu çalışma ile özellikle gemi personelinin senkronizasyon süreci hakkında teorik bilgi edinmesi ve literatüre gemi elektriği alanında katkı sunulması amaçlanmıştır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 June 2022
Received in revised form 31 August 2022
Accepted 3 September 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Ship electricity, diesel generator,
synchronization

ABSTRACT

The electrical energy needs of ships are generally met by diesel generator sets. Depending on the type of ships, there may be different numbers and capacities of generator sets on the ships. If the electrical energy needs of ships are met by more than one generator, the other generator should be activated in a synchronized manner. This process can be carried out both automatically and manually. In this study, the synchronization process of two generators on a ship was performed by making a simulation study in Matlab&Simulink. Then, the changes in the electrical parameters in the generator busbars during the synchronization process were interpreted. With this study, it is aimed to obtain theoretical knowledge about the synchronization process of ship personnel and to contribute to the literature in the field of ship electricity.

Doi: 10.24012/dumf.1134163

* Sorumlu Yazar

Giriş

Gemilerde elektrik enerjisi ihtiyacı gemi türüne ve operasyonel faaliyetlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Elektrik enerjisi üretimi ise alternatöre dizel motor, buhar türbini veya gaz türbini bağlanarak elde edilebilmektedir. Toplam kurulu gücü 12 MW'a kadar olan gemilerde elektrik enerjisi üretimi ve dağıtımı genellikle alçak gerilim (440-690V) seviyesinde yapılmaktadır. 10-20 MW güç kapasitesi arasında 6.6 kV ve 20 MW güç kapasite üzerinde ise 11 kV gerilim seviyesinde iletim sağlanır [1]. Gemilerde ihtiyaca göre bir veya birden fazla jeneratör devreye alınarak, güç talebi karşılanır. İkinci jeneratörün gemi güç sistemine bağlanması sırasında voltaj genliği, frekansı ve faz açısı kontrol edilmelidir. İki jeneratörün hem gemi güç sistemine hem de beslediği yüklere zarar vermeden bağlanabilmesi için senkronizasyon şartlarına uyulması gerekmektedir. Bu her iki jeneratörün gerilimlerinin, frekanslarının, faz sıralarının ve faz açılarının eşitlenmesi anlamına gelir [2]. Senkronizasyon işlemi hem manuel hem de otomatik olarak yapılabilmektedir. Manuel senkronizasyon gemide genelde elektrik, elektro-teknik ve makine zabiti tarafından gerçekleştirilir. Personel, ana pano üzerinde bulunan senkronizasyon panelinden her iki jeneratörün senkronizasyon parametrelerini eşitledikten sonra devreye alınacak jeneratörün yük barasına bağlanması için ara devre kesiciyi kapatır. Otomatik senkronizasyon işleminde ise otomatik senkronizasyon cihazı kullanılır. Cihaz, voltajı, frekansı ve faz açısını izler. Senkronizasyon şartlarının sağlanması için düzeltme sinyalleri üretir ve jeneratörleri kontrol eder. Şartlar sağlandığında ise jeneratör kesicisine kapatma komutu göndererek işlemi sonlandırır [3]. Bununla birlikte, jeneratörlerin senkronizasyonu için farklı yöntemler kullanılmakta olup temel amaç senkronizasyon şartlarının sağlanıp sağlanmadığını kontrol etmektir. Bu yöntemler; parlak lamba yöntemi, karanlık lamba yöntemi ve senkroskop yöntemi olarak sıralanabilir. Bu yöntemler arasında en yaygın kullanılanı ise senkroskop yöntemidir. Senkroskop cihazı, iki jeneratörün fazlarına bağlanır ve gösterge panelindeki işaretçi ile senkronizasyon şartlarının sağlanıp sağlanmadığının takibi gerçekleştirilir [4].

Literatürde jeneratörlerin senkronizasyonu konusu farklı açılardan incelenmiştir. Garip ve ark. [5] alternatörlerin paralel bağlanması sırasında senkronizasyon şartlarından olan bara gerilimleri eşitliğinin mikro-denetleyici kullanılarak otomatik sağlanması üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, gerilim eşitliğinin mikro-denetleyici ile gerçekleştirilmesinin kullanılan eleman sayısını azalttığını ve maliyeti düşürdüğünü belirtmişlerdir. Sefa ve ark. [6] çalışmalarında jeneratörlerin paralel bağlanma koşullarından olan frekans ve faz açısı eşitliğini mikro-denetleyici tabanlı olarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, maliyeti düşük ve güvenilir bir sistem elde etmişlerdir. Ranchagoda ve ark. [7] jeneratör senkronizasyon sistemi için pratik bir modül tasarlamışlardır. İki senkron jeneratör arasında senkronizasyonu gerçekleştiren bu modülü laboratuvar ortamında test etmişlerdir. Sonuçta, jeneratörlerin üstlendikleri yükler arasında %20 oranında bir fark bulmuşlardır. Kusakana [8] mikro-şebeke uygulamalarında çoklu jeneratör sistemlerinin senkronize şekilde çalıştırılmasının teknik ve ekonomik analizini yapmıştır. Şebekeden bağımsız yüklerin tek bir

jeneratör yerine çok jeneratör sistemi ile karşılanmasının kurulum maliyetini artırmasına karşın uzun süreli kullanımlarda ekonomik fayda sağlayacağını belirtmiştir. Xing ve ark. [9] değiştirilebilir ataletli sanal senkron jeneratör için pratik bir senkronizasyon öncesi kontrol yöntemi önermişlerdir. Çalışmalarında, sanal senkron jeneratör kullanılarak önerilen yöntemde bir faz kilitli döngü ile şebeke bağlantı noktasının gerilim değerini izlemişlerdir. Sonrasında, ilgili referans değerlerini ve fazın geri beslemesini düzenleyerek, sanal senkron jeneratörün çıkış voltajının, şebeke bağlantı noktasındaki gerilime göre genlik, frekans ve faz konumunu analiz etmişlerdir. Thakallapelli ve ark. [10] çift beslemeli endüksiyon jeneratör tabanlı rüzgâr türbinlerinin güç şebekelerine esnek bağlantısı için senkronizasyon kontrol tekniğini önermişlerdir. Rüzgâr türbinlerinin arıza sonrasında şebekeye tekrar bağlanabilmeleri adına gerilim kontrollü bir senkronizasyon yöntemini incelemişlerdir. Çalışma neticesinde, bağlantı sırasında yaşanan dalgalanmaların %60 oranında azaltıldığını tespit etmişlerdir. Nurkanović ve ark. [11] yaptıkları çalışmada mikro-şebekelerde optimizasyon tabanlı frekans ve gerilim kontrolü gerçekleştirmişlerdir. Dida ve ark. [12] çift beslemeli asenkron jeneratör kullanan rüzgâr türbini sisteminin yeni şebeke senkronizasyonu ve güç kontrol şemasını oluşturmuşlardır. Bu sistemde bulanık mantık kullanarak senkronizasyon işlemi gerçekleştirmişlerdir. Sistemde gerilim kontrolü kullanılmış olup, makine parametrelerinin değişmesi durumunda kontrollü sistem performansının sağlamlığını artırmak için bir bulanık mantık denetleyicisi tanıtmışlardır. Gozdowiak [13] yaptığı çalışmada jeneratörün şebeke ile bağlanması sırasında oluşan hataların etkilerini incelemiştir. Yapılan çalışmada, senkronizasyon şartlarından faz açılarının 120 dereceye kadar farklı olması durumunda maksimum hata oranı ile karşılaştığını ifade etmiştir. Huang ve ark. [14] yaptıkları çalışmada birden fazla sanal senkron jeneratör için geliştirilmiş bir paralel ön senkronizasyon kontrolünü önermişlerdir. Şebeke bağlantı problemini çözmek için sanal senkron jeneratör ve çift ikinci dereceden genelleştirilmiş integral frekans kilit döngüsüne dayalı bir ön senkronizasyon kontrolü yapmışlardır. Zare [15] yapmış olduğu çalışmada uyarlanabilir yüksek dereceli kayan mod denetleyicisine dayalı çift beslemeli endüksiyon jeneratörü için senkronizasyon ve frekans kontrol stratejisi geliştirmiştir. Iqbal ve Singh [16] senkron jeneratör senkronizasyonunun sanal laboratuvar kullanılarak öğretilmesini amaçlayan bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmalarında, Matlab&Simulink programı kullanılarak iki senkron jeneratörün senkronizasyon şartlarının öğretilmesini amaçlamışlardır.

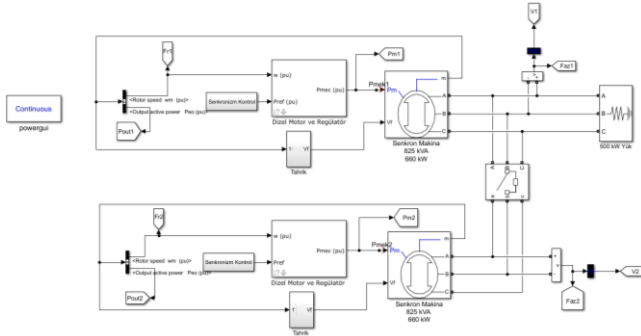
Jeneratörlerin senkronizasyonu konusunda gemi güç sistemlerine yönelik bazı çalışmalar yapılmıştır. Kim ve ark. [17] bir hibrit deniz elektrik güç sisteminde yüklerin senkronizasyonu ve dağılımı üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada Matlab&Simulink programı kullanılarak bir senkron jeneratör, sanal senkron jeneratör ve elektrik depolama sistemi barındıran bir sistemin senkronizasyonunu ve sonrasında yük paylaşımını incelemişlerdir. Siddiqi ve ark. [18] senkron jeneratörlerin paralel çalışma gerçekleştirebilmeleri için kullanılacak mikro-kontrolcü bazlı bir otomatik senkronizasyon ünitesini incelemişlerdir. Çalışmalarında Matlab&Simulink programı

kullanmışlardır. Çalışma sonucunda faz açıları arasında göz ardı edilebilecek kadar küçük bir açı farkı ile sistemin senkronize olduğunu göstermişlerdir. Budashko ve Shevchenko [19] gemi jeneratör gruplarını senkronize etmek için kontrol sisteminin sentezine yönelik bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmanın neticesinde bir senkronizasyon görevini gerekli koşullar altında performans görevi ve kontrol görevi olarak ayırarak sistem elemanlarının uygun şekilde ayrıştırılmasıyla adaptif kontrol sistemleri sınıfında bir sistem tasarlamışlardır.

Literatür incelendiğinde, jeneratör sistemlerinin senkronizasyonu güç kalitesi, kontrol ve verimlilik gibi farklı açılardan değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, gemi güç sistemlerinde jeneratörlerin senkronizasyonu konusunda yeterli derecede çalışmanın bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sebeple, bu çalışmada bir gemi güç sisteminde iki jeneratörün senkronize şekilde çalışması durumunda jeneratör baralarındaki gerilim, frekans ve faz açısı gibi elektriksel parametrelerin değişimi ve karakteristiği izah edilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda Matlab&Simulink programı ile gemi güç sistemi modellenerek senkronizasyon sürecindeki elektriksel parametrelerin davranışı incelenmiştir. Bu sayede hem literatüre katkı sunulması hem de gemi personelinin jeneratörlerin senkronizasyonu konusundaki pratik bilgilerinin yanı sıra teorik bilgilerle de desteklenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada Matlab&Simulink programı ile jeneratör, iletim hattı ve yükten oluşan temel bir gemi elektrik sistemi modellenerek jeneratörlerin senkronizasyon süreci incelenmiştir. Modelin temel görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Gemi elektrik sistemi modeli

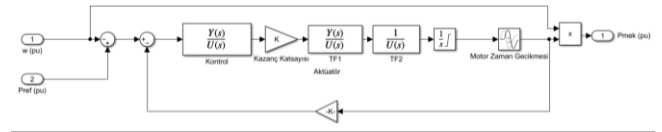
Kullanılan sistem için [18] çalışması referans alınmıştır. Burada ω rotor dönüş hızını, P_{ref} regülatörün takip etmesi istenen referans güç noktasını, V_f alan gerilimini, P_{mek} regülatör tarafından jeneratöre verilen mekanik gücü ifade eder. Modelleme için kullanılan jeneratör verileri literatürden temin edilmiş olup, genel anlamda bir yük gemisinin verilerini yansıtmaktadır [20, 21]. Benzetim çalışmasında iki adet 825 kVA gücünde özdeş senkron jeneratör kullanılmıştır. Sistemin gerilim değeri gemi sistemlerinde kullanılan 440 V değerine ayarlanmıştır.

Modellenen jeneratörlerin temel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Senkron jeneratör parametreleri

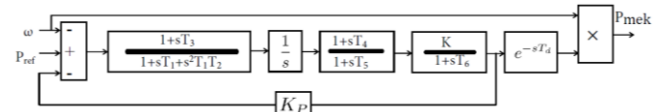
Parametre	Birim
Görünür Güç	825 kVA
Aktif Güç	660 kW
Gerilim	440 V
Kutup Sayısı	6
Devir sayısı	1200 rpm
Frekans	60 Hz
$\cos\theta$	0.8

Yapılan gemi güç sistem modelinde kullanılan hız regülatörü modeli IEEE standart DEGOV1 modeli olup, temel yapısı Şekil 2 ile gösterilmiştir [9].



Şekil 2. Dizel motor ve hız regülatörü modeli.

Ayrıca modelin oluşturulmasında kullanılan Standard IEEE DEGOV1 modelinin blok şeması Şekil 3'te verilmiştir. Uyarma gerilimi üretilmesi için kullanılan uyarıcı sistem için IEEE AC5A modeli kullanılmıştır. Sistemde dizel motor ve hız regülatörü modeli için [9] çalışması referans alınmıştır.



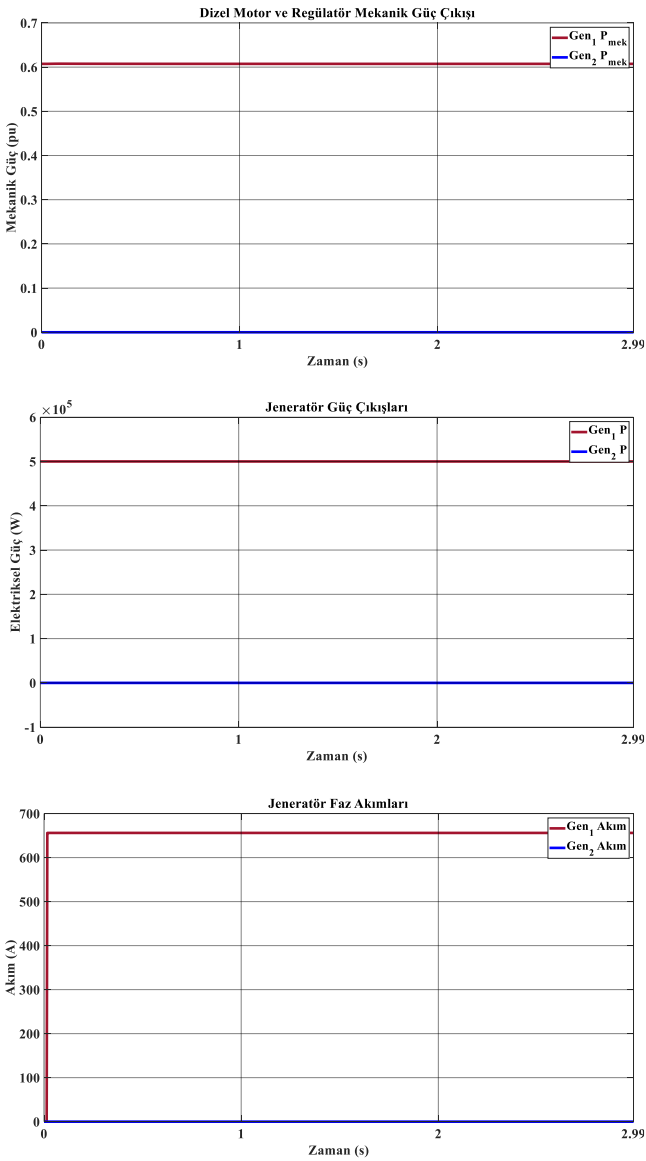
Şekil 3. Standard IEEE DEGOV1 modeli blok şeması [9]

Burada, K_p düşüm katsayısını ifade eder. K_p değeri genellikle 0.03-0.05 arasında alınmaktadır [22]. Bu model için K_p değeri 0.05 olarak kabul edilmiştir. Sistemde referans güç noktası (P_{ref}) ile açılal hız arasındaki farkı dikkate alarak kontrol işlemi yapılmaktadır. Modelde tüm girişler per unit (pu) cinsinden kullanılmıştır. Sistemin çıkışlarında ise normal değerlerine çevrilmiştir. Sistemde yalnızca dizel motor ve regülatör mekanik güç çıkışı pu cinsinden ölçülmüştür. Sistem üçüncü saniyede anahtarlama yapacak şekilde ayarlanmıştır. Son olarak sistemde kullanılmakta olan yük değeri 500 kW olarak belirlenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Jeneratörlerin bir adet ve yüksek kapasiteli seçilmesi yerine daha düşük kapasiteli ve sayıca birden fazla tesis edilmesi işletme açısından daha verimli olmasına, kaynak yönetiminin daha sağlıklı bir şekilde yapılmasına ve arıza/bakım durumlarında işletme dengesinin korunmasına katkı sunacaktır. Bununla birlikte, gemide yüksek kapasiteli tek jeneratörün çalışması ihtiyaç duyulan enerji gereksinimine bağlı olarak jeneratörün düşük yükte çalışmasına neden olabilir. Bu durum dolaylı olarak yakıt sarfiyatını artırabilir.

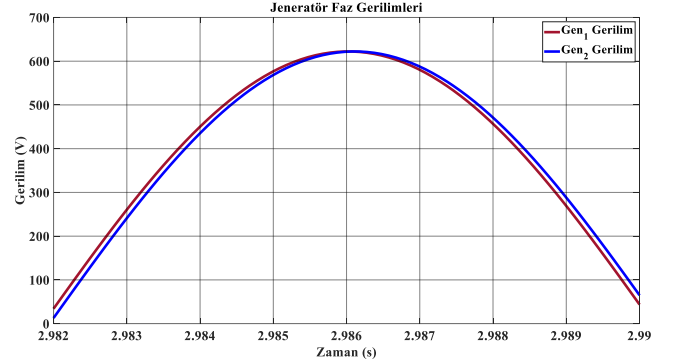
Bu nedenle, normal işletme koşullarında orta büyüklüklerde birden fazla jeneratörün devreye alınması ile jeneratörlerin daha verimli ve yakıt sarfiyatının daha düşük olduğu bir noktada çalıştırılması mümkün olabilecektir. Aynı zamanda yük artışı durumunda diğer jeneratörlerin devreye alınması ile bu yüklerin karşılanması ve sistemin esnek ve verimli bir şekilde işletilmesi mümkündür. Bu durumda jeneratörlerin eş zamanlı olarak devreye alınması ve işletilmesi gerekmektedir. Bu sürecin sorunsuz bir şekilde gerçekleşmesi için senkronizasyon şartlarının sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada senkronizasyon sürecinin önemi vurgulanmıştır. Çalışmada örnek bir gemi güç sistemi modellenerek gemide 500 kW güç ihtiyacının oluşması durumu incelenmiştir. Bu durumda birinci jeneratöre ek olarak ikinci jeneratörün de devreye alınması sürecinin benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. Senkronizasyon öncesinde her iki jeneratörün güç çıkışları, jeneratöre verilen mekanik güçleri ve akım değerleri Şekil 4 ile gösterilmiştir.



Şekil 4. Senkronizasyon öncesi bara değerleri

İkinci jeneratör devreye alınmadan hemen önce devredeki jeneratör tüm yükü karşılamakta olup ikinci jeneratöre verilen mekanik güç sıfırdır. Bunun doğal sonucu olarak ikinci jeneratörün faz akımı ve çıkışındaki elektriksel güç de sıfırdır. Bu durumda, birinci jeneratöre, dizel motor ve regülatörün çıkışından aktarılan mekanik güç 0.6 pu, jeneratör faz akımı 656.2 A ve elektriksel çıkış gücü 500 kW olarak ölçülmüştür.

Bu çalışmada faz sıraları düzgün bağlanmıştır. Faz açıları ise hemen hemen eşit seviyelerdedir. Faz açısı değişimi Şekil 5'te gösterilmiştir.

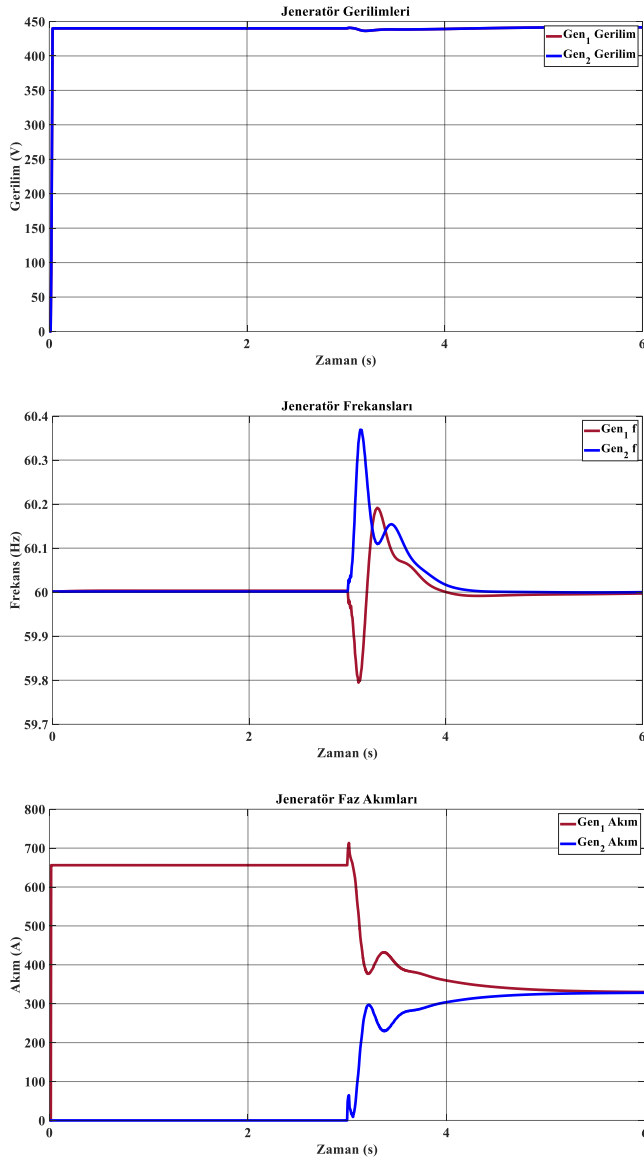


Şekil 5. Faz açısı değişimi

Pratikte devre kesiciyi tüm değerlerin tam olarak eşit olduğu seviyede kapatmak gerçekçi bir yaklaşım değildir. Bunun yerine bu tür sistemlerde eşitlenmesi gereken parametrelerdeki uyumsuzluklar kabul edilebilir bir tolerans seviyesi ile senkronize edilir [23]. Bu çalışmada da senkronizasyon şartı hemen hemen sağlanmış durumdadır. Ayrıca, senkronizasyon anında ikinci jeneratör henüz yük almamış durumdadır. Bu nedenle ikinci jeneratöre ait akım değerleri sıfır olmuştur.

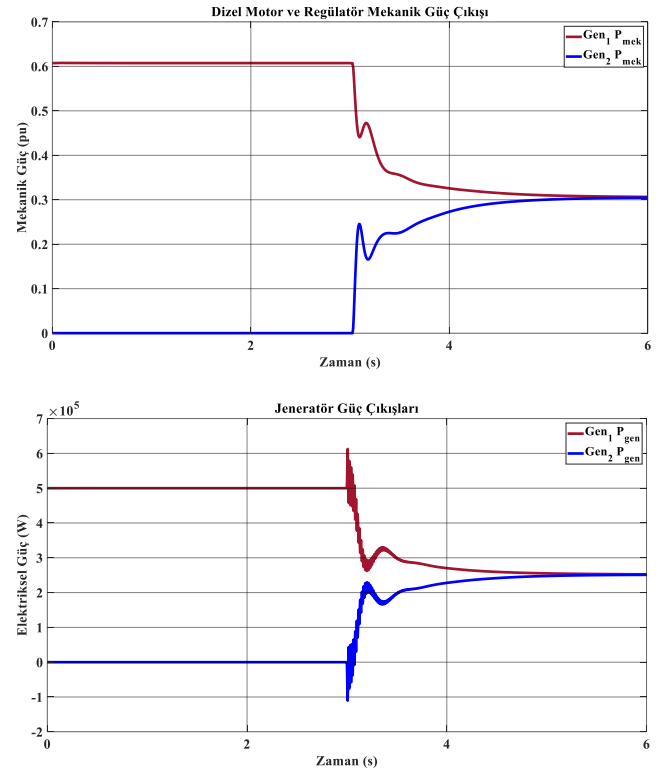
Senkronizasyon sonrasında ise devreye alınacak jeneratörün yük barasına bağlanması için ara devre kesici kapatılmıştır. Bu durumda her iki jeneratörün senkronizasyon öncesi, sırası ve sonrasındaki gerilim, akım ve frekans değişimleri Şekil 6'da gösterilmiştir.

Şekil 5 ve Şekil 6'dan görüldüğü üzere anahtarın kapatıldığı 3. saniyede baralardaki frekans, gerilim ve faz açıları yaklaşık olarak eşit duruma ve bu durumda senkronizasyon anında olabilecek dalgalanmalar en az hale getirilmiştir.



Şekil 6. Senkronizasyon sürecinde bara değerleri

Senkronizasyon sonrasında gerekli şartlar sağlandığı için devreye alınan jeneratöre verilen mekanik güç artmaya başlamıştır. Bu sırada regülatörler aracılığı ile çalışan mevcut jeneratöre verilen mekanik güç ise azalır. İkinci jeneratöre verilen mekanik güç artırıldıkça, makinenin devri yükselir ve ikinci jeneratör birinci jeneratörden yükü almaya başlar. Bu noktada birinci jeneratör üzerindeki yük azaldıkça makine devri biraz artar ve frekansı bir miktar yükselir. Bu işlemle aynı zamanda mevcut çalışan birinci jeneratöre aktarılan mekanik güç azaltılır. Birinci jeneratörün devri düşer ve bir miktar yükü üstünden atmaya başlar. Bu noktada aktarılan yükü üstüne alan ikinci jeneratörün devri düşecektir ve sistem frekansı da aynı şekilde düşüş gösterecektir. Bu sayede sistem frekansı bozulmadan yük paylaşımı tamamlanmış olur. Bu süreçte dizel makineden elde edilen mekanik güç ile alternatörün çıkış gücü değişimi Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Pmek ve Pgen değişimi

Şekil 7’de görüldüğü üzere, işletmedeki birinci jeneratöre verilen mekanik güç azaltılırken, devreye alınan jeneratöre verilen mekanik güç artırılmıştır. Bu sayede yük iki jeneratör arasında eşit olarak paylaşılmıştır. Yük paylaşımı 3.5s gibi kısa bir süre içerisinde tamamlanmıştır. Bu sürecin sonunda her iki jeneratör de yaklaşık olarak 250 kW’lık yükü karşılamaya başlamıştır.

Gemi elektrik sistemi için gerçekleştirilen benzetim çalışması sonucunda her iki jeneratörün senkronizasyon sırası ve sonrası bara parametrelerindeki değişim ise Tablo 2 ile özetlenebilir.

Tablo 2 Senkronizasyon sırası ve sonrası bara değerleri

Parametre	Senkronizasyon Sırası		Senkronizasyon Sonrası	
	Jeneratör 1	Jeneratör 2	Jeneratör 1	Jeneratör 2
Güç (kW)	500	0	250	250
Frekans (Hz)	60	60	60	60
Bara Gerilimi (V)	440	440	440.4	440.4
Pm (pu)	0.3203	0	0.1602	0.1602
Pg (pu)	0.6060	0	0.3033	0.3033

Tablo 2’den görüldüğü üzere, jeneratörler arasındaki yük paylaşımı tamamlandığında jeneratör baralarında eşit parametreler ölçülmüştür. Sistem frekansı ve bara gerilimleri mevcut değerlerini hemen hemen korumuştur. Bara gerilimlerinde ise %0.09’luk bir fark oluşmuştur. Ayrıca dizel motor ve hız regülatörleri aracılığı ile sağlanan mekanik gücün paylaşım süresi sonunda eşitlendiği de görülmüştür.

Böylece, yük iki jeneratör arasında yaklaşık 3.5s gibi bir sürede eşit paylaşılmıştır.

Sonuç olarak, gemilerde elektrik enerjisi ihtiyacı jeneratör grupları ile karşılanmakta olup güç ihtiyacının artması yedekte bekleyen jeneratörün devreye alınması ile sağlanır. İki jeneratörün eş zamanlı olarak sisteme enerji sağlaması için gerilim, frekans, faz açısı ve faz sırası gibi parametrelerin eşitlenmesi gerekmektedir. Gemi güç sisteminde herhangi bir hata ile karşılaşılması için öncelikle bu parametreler eşitlenir. Sonrasında diğer jeneratör sisteme bağlanır. Böylece her iki jeneratör ile elektrik enerjisi üretimine katkı sağlanır. Bu süreç uygulamada eksiksiz yapılsa da senkronizasyon şartlarının temel prensiplerinin teorik olarak izah edilmesi özellikle gemide çalışacak personel için önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışma ile gemi jeneratörlerinin senkronizasyonu konusunda denizcilik alanında literatüre katkı sunulması amaçlanmıştır.

Sonuç

Bu çalışmada, gemilerde elektrik enerji üretimi sağlayan jeneratörlerin eş zamanlı işletilmesi süreci incelenmiştir. Bu kapsamda, gemi güç sistemi Matlab&Simulink programı ile modellenmiştir. Sonrasında, gemide elektrik enerjisi ihtiyacının tek jeneratörle karşılanmadığı durumlarda diğer jeneratörün devreye alınması süreci analiz edilmiştir. Bu süreçte senkronizasyon şartlarının (faz sırası, faz açısı, gerilim ve frekans) karakteristiği incelenmiştir. Sonuç olarak, gemilerde enerji verimliliğinin sağlanması, güç kalitesinin bozulmaması ve elektrik enerjisi ihtiyacının kesintisiz karşılanması için senkronizasyonun etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile geminin bir kısmının (aydınlatma, elektrik motorları vb.) veya tamamının enerji ihtiyacının karşılanabilmesi mümkündür. Gelecek çalışmalarda bu tür entegrasyonların gemi jeneratörlerinin senkronizasyonuna etkisinin araştırılması düşünülmektedir. Bununla birlikte gemilerde jeneratörlerin senkronizasyonun gerçekleşmesi sürecinin pratik bilgilerin yanı sıra teorik bilgilerle de desteklenmesinin gemi personelinin bir ünitenin arızalanması neticesinde güç kaynağının bütünlüğünün etkilenmesi, kaynak yönetimi hususunda karşılaşılabilecek zorluklar ve jeneratörlerin verimsiz çalıştırılması gibi olası enerji problemlerini çözmesinde yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] ABB, "Teknik uygulama föyü no. 12 deniz sistemleri ve gemi tesisatlarının genel özellikleri".
- [2] D. L. Ransom, "Get in step with synchronization," in *67th Annual Conference for Protective Relay Engineers*, College Station, TX, USA, 2014, pp.4210-4215.
- [3] F. Yıldırım, "Generatörlerin otomatik senkronizasyonu" Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye 2014.
- [4] U. Amin, G. Ahmad, S. Zahoor ve F. Durrani, "Implementation of parallel synchronization method of generators for power & cost saving in University of

Gujrat," *Energy and Power Engineering*, vol. 06, no. 10, pp. 317-332, Sept. 2014.

- [5] İ. Garip, S. Bayhan, ve İ. Çolak, "Alternatörlerin paralel bağlanma şartlarından gerilim eşitliğinin mikrodenetleyici ile gerçekleştirilmesi," *Technological Applied Sciences*, vol. 4, no. 4, pp. 348-359, May. 2009.
- [6] İ. Sefa, R. Bayındır, İ. Garip, S. Bayhan ve İ. Çolak, "Generatörlerin paralel bağlanma şartlarından frekans ve faz açısı eşitliğinin mikrodenetleyici tabanlı olarak sağlanması," *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, vol. 25, no. 1, pp. 39-48, 2010.
- [7] N. H. Ranchagoda, M. K. S. Sankalpana, K. A. S. K. Arachchi ve D. S. De Silva, "A practical module for generator synchronization system," in *2015 IEEE 3rd International Conference on MOOCs, Innovation and Technology in Education (MITE)*, Amritsar, India, Oct. 2015, pp. 26-30.
- [8] K. Kusakana, "Techno-economic analysis of multiple paralleled diesel generators for micro isolated applications," in *2017 International Conference on the Domestic Use of Energy (DUE)*, Cape Town, South Africa. Apr. 2017, pp. 2-7.
- [9] P. Xing, X. Jia, C. Titan, Y. Mao, L. Yu ve X. Jiang, "Pre-synchronization control method of virtual synchronous generator with alterable inertia," in *2019 IEEE 10th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, Xi'an, China, June 2019 pp. 946-951.
- [10] A. Thakallapelli, S. Kamalasadana, K. M. Muttaqi ve M. T. Hagh, "A synchronization control technique for soft connection of doubly fed induction generator based wind turbines to the power grids," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 55, no. 5, pp. 5277-5288 Oct. 2019.
- [11] A. Nurkanović, A. Mešanović, M. Sperl, S. Albrecht, U. Münz, R. Findeisen, ve M. Diehl, "Optimization-based primary and secondary control of microgrids". *at-Automatisierungstechnik*, vol. 68, no. 12, pp. 1044-1058, May. 2020.
- [12] A. Dida, F. Merahi ve S. Mekhilef, "New grid synchronization and power control scheme of doubly-fed induction generator-based wind turbine system using fuzzy logic control", *Computers and Electrical Engineering*, vol. 84, no. 4, June 2020.
- [13] A. Gozdowiak, "Faulty synchronization of salient pole synchronous hydro generator," *Energies*, vol. 13, pp. 20, Oct. 2020.
- [14] S. Huang, B. Wang, Y. Yan, ve W. Xu, "An improved parallel pre-synchronization control for multiple virtual synchronous generators," in *2021 China Automation Congress (CAC)*, Beijing, China, 2021, pp. 6182-6187.
- [15] H. Zare, "Synchronization and frequency control strategy for doubly fed induction generator based on adaptive high-order sliding mode controller," *In International Journal of Numerical*

- Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, vol. 34 no. 5, Apr. 2021.
- [16] A. Iqbal ve G. K. Singh, "Teaching synchronization of synchronous generator using virtual laboratory," *IETE Journal of Education*, pp. 1–10 March 2022.
- [17] Y. Kim, N. A. Dobroskok, A. N. Lavrinovskiy, ve A. N. Lukichev, "On synchronization and distribution of loads in a hybrid marine electric power system," in *2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus)*, St. Petersburg, Moscow, Russia, 2021, pp. 946-951.
- [18] M. T. A. Siddiqi, M. M. Rasul ve S. M. Hossain, "Automatic synchronization unit for marine alternators," in *2021 2nd International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)*, DHAKA, Bangladesh, 2021, pp. 211-214.
- [19] V. Budashko ve V. Shevchenko, "The synthesis of control system to synchronize ship generator assemblies," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* vol. 1, no. 2, pp. 45-63, Feb. 2021.
- [20] G. Kökkülünk, "Energy and exergy analyses of a bulk carrier diesel generator for different loads," *Journal of ETA Maritime Science*, vol. 7, no. 1, pp. 43–50, Jan. 2019.
- [21] MAN Diesel & Turbo, "L16/24 imo tier ii-marine generating sets."
- [22] K. Valkeejärvi, "The ship's electrical network, engine control and automation," *Royal Belgian Institute of Marine Engineers*.
- [23] R. C. Schaefer, "Art of generator synchronizing," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, Austin, TX, USA, 2016, pp. 88-95.



MR görüntülerinden Alzheimer tespitinde boyut azaltma ve derin öğrenme yaklaşımlarının karşılaştırılması

Comparison of dimension reduction and deep learning approaches to detect Alzheimer from MR images

Ömer Türk*

Mardin Artuklu Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, omerturk@artuklu.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0060-1880>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 6 Temmuz 2022
Revizyon 16 Ağustos 2022
Kabul 2 Eylül 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

MR, Alzheimer, BBA, TBA, YDG, k-EYK

ÖZ

Her yıl milyonlarca insana Alzheimer teşhisi konulmaktadır. Alzheimer, nörodejeneratif bir hastalıktır. Kliniklerde bu hastalığın en doğru tespiti için biyopsi işlemi uygulanmaktadır. Ancak bu işlem beyin üzerinden gerçekleştirildiğinden hasta için büyük bir risk teşkil etmektedir. Bundan dolayı bu tür hastalıkların tespit edilmesinde daha çok nörogörüntüleme teknikleri tercih edilmektedir. Bu nörogörüntüleme tekniklerinden biri de Manyetik Rezonans (MR) görüntülemidir. MR invazif olmayan bir araç olup kliniklerde çokça tercih edilmektedir. Bunun yanında mühendislik alanında MR görüntüleri kullanılarak bilgisayar destekli tanı sistemleri de geliştirilmektedir. Bu çalışmada dört farklı Alzheimer sınıfı içeren MR görüntüleri kullanılarak, bu hastalığın demans seviyesi tespit edilmeye çalışılmıştır. Veri kümesi; orta demans, hafif demans, çok hafif demans ve demans olmayan sınıflardan oluşmaktadır. Çalışmada ilk önce, MR görüntüleri ham olarak matrislere dönüştürülmüştür. Elde edilen matrislere dağılımın normale yaklaştığı, standart sapmanın bir değerini aldığı standardizasyon işlemi uygulanmıştır. Daha sonra veri kümesi Evrişimsel Sınır Ağında (ESA) sınıflandırılmıştır. Aynı zamanda Temel Bileşen Analizi (TBA), Bağımsız Bileşen Analizi (BBA) ve Yerel Doğrusal Gömme (YDG) yöntemleri ayrı ayrı uygulanarak, öznelik vektörü elde edilmiştir. Elde edilen öznelik vektörü k-en Yakın Komşu (k-EYK) algoritması ile sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucunda, ESA, k-EYK-TBA, k-EYK-BBA ve k-EYK-YDG yöntemlerinde sırasıyla, %88.44, %95.52, %98.22 ve %91.14 sınıflandırma doğruluğu bulunmuştur. Çalışma sonucunda en iyi performansın BBA tabanlı k-EYK sınıflandırıcı ile elde edildiği görülmüştür.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 July 2022
Received in revised form 16 August 2022
Accepted 2 September 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

MR, Alzheimer, ICA, PCA, LLE, k-NN

Doi: 10.24012/dumf.1141233

* Sorumlu Yazar

ABSTRACT

Millions of people are diagnosed with Alzheimer's each year. Alzheimer's is a neurodegenerative disease. In clinics, biopsy is performed for the most accurate detection of this disease. However, since this procedure is invasive, it poses a great risk for the patient. Therefore, non-invasive such as neuroimaging techniques are preferred more in the detection of such diseases. One of these neuroimaging techniques is Magnetic Resonance Imaging (MRI). MRI is a non-invasive tool and is widely preferred in clinics. In addition, computer-aided diagnosis systems are being developed by using MRI images in the field of engineering. In this study, the dementia level of this disease was tried to be determined by using MRI images containing four different Alzheimer's classes. The data set consists of moderate dementia, mild dementia, very mild dementia and non-dementia classes. In the study, firstly, MRI images were converted into matrices raw. The standardization process was applied to the obtained matrices, in which the distribution approached normal and the standard deviation took the value of 1. Then the data set was classified in Convolutional Neural Network (CNN). At the same time, the feature vector was obtained by applying the Principal Component Analysis (PCA), Independent Component Analysis (ICA) and Local Linear Embedding (LLE) methods individually. The resulting feature vector was classified with the k-NN classifier. As a result of the classification, classification accuracy was found to be 88.44%, 95.52%, 98.22% and 91.14% in CNN, k-NN-PCA, k-NN-ICA and k-NN-LLE methods, respectively. As a result of the study, it was seen that the best performance was obtained with the ICA-based k-NN classifier.

Giriş

Alzheimer hastalığı (AH) kronik nörodejeneratif bir hastalıktır [1]. Günümüze kadar AH nedeni anlaşılamamıştır [1]. Bundan dolayı tam bir tedavisi bulunmamaktadır [1]. Yapılan tedaviler bu hastalığın yavaş ilerlemesini sağlamak amaçlıdır [1-2]. AH'nin erken tespiti sayesinde, hastalığın ilerlemesi yavaşlatılabilir [2]. Bu sayede hastanın yaşam kalitesi artırılabilir. Kliniklerde, AH'nin en doğru tespiti için biyopsi işlemi gerekmektedir [3]. Ancak bu işlem doğrudan beyin üzerinde yapılması gerektiğinden, hasta için büyük bir risk teşkil etmektedir [3]. Bu bakımdan farklı nörogörüntüleme araçları kullanılarak bu risk giderilebilmektedir. Bu nörogörüntüleme araçları arasında, Manyetik Rezonans görüntüleme (MR), Dinlenme Durumu Fonksiyonel Manyetik Rezonans görüntüleme (rs-fMR) ve Pozitron Emisyon Tomografisi (PET) gibi çeşitli görüntüleme araçları sayılabilir [3]. Özellikle MR görüntüleri, daha kesin beyin dokusu tasviri sağlayan çeşitli doku parametrelerini belirtmesi ve insan vücudunun yapısı hakkında kapsamlı bilgiler sunması açısından, önemli bir tıbbi görüntüleme aracı haline gelmiştir [4]. MR invazif olmayan (herhangi bir cerrahi müdahale gerektirmeyen) tıbbi bir görüntüleme aracıdır [4]. MR özellikle beyin araştırmalarında (Tümör, Alzheimer vs.) klinisyenler için vazgeçilmez bir araçtır [4]. Mühendislik anlamında, özellikle görüntü işleme alanında bu araçlar kullanılmaktadır. Bu tür nörogörüntüleme araçlarına dayalı bilgisayar destekli tanı sistemleri ayrı bir araştırma alanı olmuştur. Bu alan klinisyenlere fikir ve karar vermede değerli araçlar sunmaktadır.

Literatürde bilgisayar destekli tanı sistemleri genel olarak iki şekilde modellenmektedir [5]. Bunlardan birincisi konvansiyonel yöntemlerdir. Bu yöntemde görüntüler matrislere dönüştürülür. Elde edilen matrislerden öznelik elde edilir. Öznelik çıkarma yöntemlerinin iki temel amacı vardır: Bunlardan ilki, farklı hedef türlerinin birbirinden ayrılabilmesi için hedefler arasında en ayırt edici özellikleri bulmaktır; diğeri ise verinin sahip olduğu özellikleri koruyarak hedef verilerin boyutsallığını azaltmaktır [6]. Bu yöntem için geliştirilmiş birçok teknik mevcuttur. Bunlar arasında; Temel Bileşen Analizi (TBA), Bağımsız Bileşen Analizi (BBA) ve Yerel Doğrusal Gömme (YDG) teknikleri sayılabilir. İkinci bilgisayar destekli tanı sistemi ise derin öğrenme mimarilerine dayalı modeldir [5]. Bu modelde görüntülerin ham hali kullanılarak, derin öğrenme mimarilerinde değerlendirilmektedir. Bu iki modele ait, aşağıda bilgisayar destekli tanı sistemleri için tasarlanmış literatür çalışmaları verilmiştir.

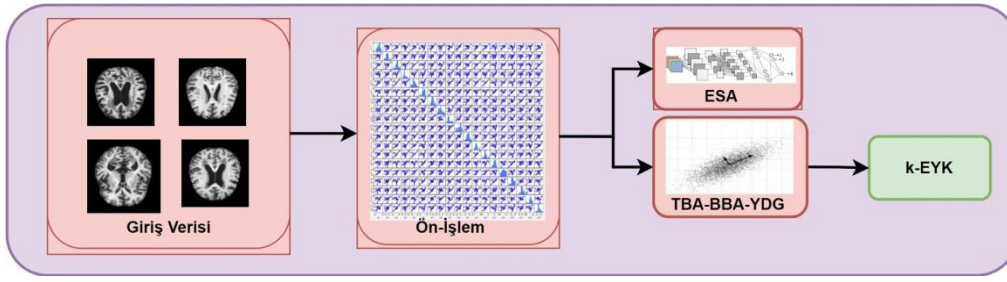
Shanmugam ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, MR görüntüleri, transfer öğrenme yaklaşımı kullanılarak sınıflandırılmıştır. Çalışmada, GoogleNet, AlexNet ve ResNet-18'in AH'yi tespit etmedeki doğruluğu sırasıyla %96.39, %94.08 ve %97.51 olarak bulunmuştur [7]. Park

ve arkadaşları, büyük ölçekli gen ekspresyonu ve DNA metilasyon verilerini kullanarak AH'yi tahmin edebilen derin öğrenmeye dayalı bir model önermiştir. Farklı bir öznelik seçme yöntemi kullanılarak, başarımları artırımlı amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda %82.3 doğrulama performansı elde edilmiştir [8]. Liu ve diğerleri, Siyem ağları (Siamese Networks) kullanarak MR görüntülerinden AH'yi tespit etmişlerdir. Çalışmada farklı boyut indirgeme yöntemlerini kullanarak %92.80 başarımlı performansı elde edilmiştir [9]. Lee ve arkadaşları, derin sinir ağları tarafından öğrenilen her bölgedeki vokseller arasındaki karmaşık doğrusal olmayan ilişkileri kullanarak, bir bölgesel anormallik temsili çıkarmışlardır. Çalışmada %88.52 sınıflandırma doğruluğu bulunmuştur [10]. Goenka ve diğerleri, alzheimer tespitini için alt küme seçimi, tek biçimli seçim ve interpolasyon yakınlaştırma yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmada alzheimer hastalığının tespitinde 3-boyutlu derin öğrenme mimarisi ile % 98.26 başarımlı elde edilmiştir [11]. Öziç ve diğerleri voksel tabanlı bilgisayar tanı sistemi önermiştir. Çalışmada normal kontrol ve AH hastaları sınıflandırılmıştır. Elde edilen öznelikler Destek Vektör Makinesinde (DVM) %92.85 başarımlı sınıflandırılmıştır [12]. Oh ve diğerleri, MR görüntülerinden AH tespiti için derin öğrenmeye dayalı bir yöntem önermiştir. Dört sınıf içeren MR görüntüleri, Evrişimsel Siniri Ağına (ESA) verilerek, %86.60 sınıflandırma başarımlı elde edilmiştir [13]. Johannes Rieke ve diğerleri, 3-boyutlu ESA mimarisi kullanarak, MR görüntülerinden AH tespiti yapmıştır. Çalışmada normal kontrol ve AH MR görüntüleri sınıflandırmıştır. 3-boyutlu ESA mimarisinden AH % 77.00 başarımlı ile tespit edilmiştir [14].

Yukarıda verilen çalışmalarda önerilen bilgisayar destekli tanı modellerinin amacı MR temelli AH hastalığının tespitidir. Bu çalışmada Orta Demans (OD), hafif demans (HD), çok hafif demans (ÇHD) ve demans olmayan (DO) MR görüntülerinin bir derin öğrenme mimarisi olan hem ESA'da hem de öznelik elde etme ve veri boyutu azaltma yöntemleri kullanılarak k-en Yakın Komşu (k-EYK) algoritmasında sınıflandırılması amaçlanmıştır. Öznelik elde etme ve veri boyutu azaltma yöntemi olarak TBA, BBA ve YDG teknikleri kullanılmıştır. Çalışmada MR görüntülerinden demans tespitinde TBA, BBA ve YDG tekniklerinin kullanımı ve bu tekniklerin, bu çalışma için oluşturulan ESA mimarisi ile karşılaştırılması, çalışmanın özgün tarafı olmaktadır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda derin öğrenme mimarisi ve öznelik elde etme yöntemleri karşılaştırılmış ve sonuçların bilgisayar destekli tanı başarımları karşılaştırılmıştır.

Materyal ve Metot

Bu bölümde çalışmada kullanılan veri kümesi ve yöntemlerden bahsedilecektir. AH tanısı için önerilen modelin akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. AH tanısında önerilen modelin akış diyagramı

Çalışmada, veri kümesi ön işlem aşamasında matrislere dönüştürülmüştür. Elde edilen matrislere dağılımın normale yaklaştığı, standart sapmanın bir değerini aldığı standardizasyon işlemi uygulanmıştır. Bu işlemden sonra veri kümesi ESA ağına verilmiştir. K-EYK sınıflandırmada ise veri boyutunu azaltma ve öznelik elde etme teknikleri kullanılarak sınıflandırılmıştır.

Veri Kümesi

Çalışmada kullanılan MR görüntüleri kaggle platformundan alınmıştır [15]. Bu MR görüntülerin boyutu 128x128 pikselden oluşmaktadır. Veri kümesi 4 farklı sınıftan oluşmakta ve toplam 6400 MR görüntüsü içermektedir. Bu sınıflara ait birer örnek MR görüntüsü Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan sınıflara ait örnek MR görüntüleri

Sınıf	MR Görüntüsü
DO	
ÇHD	
HD	
OD	

Bu görüntülerden; 896 görüntü HD, 64 görüntü OD, 3200 görüntü DO ve 2240 görüntü de ÇHD grubundan oluşmaktadır.

Temel Bileşen Analizi

TBA bir boyut azaltma ve öznelik elde etme yöntemidir. TBA yönteminde veri ortalaması hesaplanır. Hesaplanan ortalama değer veriye ait elemanlardan çıkarılarak merkezleme işlemi gerçekleştirilir. Sonraki aşamada rastgele değişken kümeleri arasındaki korelasyonun ölçüsü için kovaryans matrisi hesaplanır [16-18].

Temel bileşen analizinde, X vektörü için, ortalama vektörünün hesaplanması;

Burada; $i=1, 2, 3, \dots, N$ olmak üzere ve $X=[x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$ olmak üzere;

Ortalama Denklem (1):

$$O = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (1)$$

Burada O , X vektörünün ortalamasıdır.

Kovaryans matrisi Denklem (2):

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - O)(X_i - O)^T \quad (2)$$

olarak hesaplanır. Burada T transpoz, Q matrisi ise kovaryans matrisi ile tanımlanan öz vektörleri gösterir.

Bağımsız Bileşen Analizi

BBA, verilerin doğrusal bir koordinat sisteminde istatistiksel olarak birbirinden bağımsız olmasını sağlar. Aynı zamanda veriler arasındaki istatistiksel bağımlılığı azaltmak için doğrusal dönüşümler gerçekleştirir [16-18]. Bu dönüşümler sonucunda veri boyutu azaltılır ve öznelik vektörü oluşturulur. BBA'nın temel amacı, karışık verilerden, kaynak verileri bulmaktır. Karışıklık vektörü Denklem (3) kullanılarak elde edilir.

K , ikinci dereceden bir kare matris olan karıştırma matrisi olsun.

$$X = KxV \quad (3)$$

Burada, X karışık piksel vektörü, V kaynak piksel vektörüdür.

Yerel Doğrusal Gömme

YDG veri boyutunu azaltmak için kullanılan bir algoritmadır. Bu algoritma gözetimsiz öğrenme temellidir. Bu algoritmada ilk önce komşu hesaplaması gerçekleştirilir. Bunun için veri kümesinde bulunan elemanlar arasındaki uzaklıklar hesaplanır. Bu işlem sonucu k en yakın komşu belirlenir. Sonraki adımda her veri için belirlenen k komşu değerleri kullanılarak kovaryans matrisi hesaplanır. Elde edilen kovaryans matrisinden ağırlık matrisi elde edilir [16,20].

Burada; $i=1, 2, 3, \dots, n$ olmak üzere X verisi n -boyutlu olmak üzere $X=[x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$, ve Y verisi m -boyutlu olmak üzere $Y=[y_1, y_2, y_3, \dots, y_m]$, X verisinden Y verisini hesaplamak için aşağıdaki denklem (4) ve denklem (5) kullanılır.

$$\varepsilon(W) = \sum_i |x_i - \sum_j w_{ij}x_j|^2 \quad (4)$$

Burada W bütünsel ağırlık, ε oluşturma hatasıdır. Daha sonra özvektörler hesaplanır.

$$\partial(Y) = \sum_i |y_i - \sum_j w_{ij}y_j|^2 \quad (5)$$

Burada $\partial(Y)$, X matrisinden elde edilen öz vektörleri temsil etmektedir.

Evrişimsel Sinir Ağı

Derin öğrenme ağları büyük verileri ham olarak işleyen ve bu verilerden otomatik olarak öznelik elde eden mimarilerdir. Bu özellikleri sayesinde günümüzde hemen hemen her alanda uygulama alanı bulmuştur. Bir derin öğrenme mimarisi olan ESA, genel olarak, evrişim, aktivasyon, havuzlama ve tam bağlı katmanlardan oluşur [21-22].

Evrişim katmanında veriler, belirlenen bir filtre ile evrişim işlemine tabi tutulur. Evrişim işleminde bir pikselin çıkış değeri, kendisinin ve komşu piksellerin değerlerinin bir ağırlıklı toplamı olarak elde edilir [20-21]. Evrişim işleminden sonra aktivasyon işlemi gerçekleştirilir. Genellikle ESA mimarisinde negatif değerleri sıfırlayan ReLu aktivasyon fonksiyonu kullanılır [21-22]. Bir sonraki katmanda havuzlama işlemi gerçekleştirilir. Havuzlama işleminde verinin alt bölgeleri oluşturulur [21-22]. Bu alt bölgelerden verilerin en büyüğü veya ortalaması alınır. Tam bağlı katman klasik bir yapay sinir ağı modelidir [21-22]. Elde edilen özneliklerin vektörizasyonu gerçekleştirilir. Bu katmanda, oluşturulan vektör boyutu kadar girdisi ve sınıf sayısı kadar çıktısı olan bir ağ oluşturulur [21-22].

K-En Yakın Komşu Algoritması

K-EYK sınıflandırıcı algoritması, örüntü tanıma alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. K-EYK sınıflandırıcı algoritması denetimli bir makine öğrenme yöntemidir [23-

24]. K-EYK sınıflandırıcı algoritması, bir test verisini karşılaştırarak, test verisinin özellikleri ile en yakın sınıfların özellikleri arasındaki k mesafe metriğini hesaplar [23-24]. Bu çalışmada deneme yöntemiyle optimum k değeri 3 olarak belirlenmiştir.

Sınıflandırma Yaklaşımı

Çalışmada kullanılan veri kümesi 128×128 piksel boyutundadır. ESA mimarisi girişine veri kümesi $6400 \times 128 \times 128$ boyutlu olarak verilmiştir. Sınıflandırma için oluşturulan ESA mimarisinde 5 adet 2-boyutlu evrişim katmanı kullanılmıştır. Bu evrişim katmanlarının ilk ikisinde 5×5 boyutlu, diğerlerinde ise 3×3 boyutlu filtreler kullanılmıştır. Bu evrişim katmanlarında sırasıyla; 16, 32, 32, 64, 64 adet öznelik haritaları oluşturulmuştur. Evrişim katmanlarından sonra ReLu aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Havuzlama katmanında 2×2 'lik boyut kullanılmış ve en yüksek değer (MaxPooling) seçilmiştir. Tam bağlı katman 500 nöron olarak oluşturulmuştur. Sınıflandırıcı olarak Softmax fonksiyonu tercih edilmiştir. Önerilen ESA mimarisinde, 20 epok, bir iterasyon da dikkate alınan örüntü sayısı 32, her bir epok için 128 iterasyon ve ilk öğrenme oranı 0.001 olarak belirlenmiştir. Yukarıda verilen ESA ağ yapısı ve parametreleri, birbirinden farklı ESA ağları üzerinde yapılan denemeler sonucu, en iyi sonucu verdikleri için seçilmiştir.

Boyut azaltma ve öznelik seçme tekniklerinde ise ilk önce $6400 \times 128 \times 128$ olan veri boyutu, 6400×16384 boyutuna dönüştürülmüştür. Bu teknikler için farklı sayıda öznelik sayıları denenmiş ve iyi sonucun 80 olduğu görülmüştür. Bundan dolayı veri kümesi sınıflandırıcıya 6400×80 olarak verilmiştir.

Çalışmada veri kümesinin %80 oranı eğitim, %20 oranı ise test için kullanılmıştır. Eğitim verisinin %20 oranı doğrulama verisi olarak kullanılmıştır. Sınıflandırma performansının daha güvenilir olarak değerlendirilmesi için 5 katlı çapraz doğrulama uygulanmıştır. Sınıflandırıcılar her sınıflandırma katında 5 kez çalıştırılarak, ortalama performans değeri hesaplanmıştır.

Model Başarım Metrikleri

Çalışmanın güvenilirliğinin ölçütü olarak model başarım metrikleri hesaplanmıştır. Model başarım metriklerine ait hesaplama denklemleri(6-9) arasında verilmiştir [25].

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP + DN}{DP + YP + DN + YN} \quad (6)$$

$$\text{Duyarlılık(Recall)} = \frac{DP}{DP + YN} \quad (7)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP + DN} \quad (8)$$

$$f1 - skor = 2 \times \frac{Kesinlik \times Duyarlilik}{Kesinlik + Duyarlilik} \quad (9)$$

Burada, DP-doğru pozitif, YP-yanlış pozitif, DN-doğru negatif ve YN-yanlış negatif'i ifade etmektedir. Model başarıml ölçümlerinde çoklu sınıf için kullanılan örnek bir karışıklı matrisi Tablo-2'de verilmiştir.

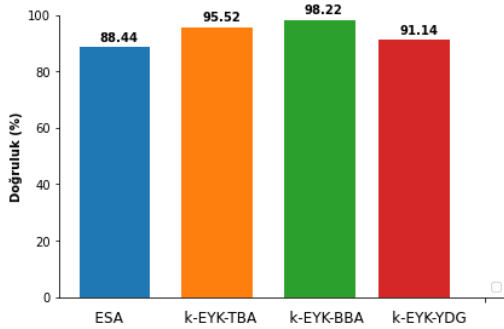
Tablo 2 Çoklu sınıf karışıklı matrisi

Tahmin Edilen Sınıf	Doğru Sınıf		
	X	Y	Z
X	DP _X	H _{YX}	H _{ZX}
Y	H _{XY}	DP _Y	H _{ZY}
Z	H _{XZ}	H _{YZ}	DP _Z

Tablo 2 çok sınıflı bir sınıflandırma için karışıklı matrisini göstermektedir. Tabloda verilen DP_X, X sınıfındaki Doğru Pozitif (DP) sayısını göstermektedir [25]. H_{XY} ise X sınıfında olup, Y sınıfı olarak yanlış sınıflandırılanların sayısını göstermektedir [25]. Burada X sınıfı için Yanlış Negatif (YN) sayısı, H_{XY} ve H_{XZ} toplamıdır [25]. X sınıfı için Yanlış Pozitif (YP) sayısı, H_{XY} ve H_{ZX} toplamıdır [25]. X sınıfı için Doğru Negatif (DN) sayısı ise DP_Y, H_{ZY}, H_{YZ} ve DP_Z toplam sayısına eşittir.

Sınıflandırma Sonuçları

Bu çalışmada, AH farklı demansları ve demans içermeyen MR görüntüleri, ESA mimarisinde ve farklı boyut azaltma ve öznitelik elde etme teknikleri kullanılarak ayrı ayrı sınıflandırılmıştır. Önerilen modellerden elde edilen sınıflandırma doğruluğu performansları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Sınıflandırma doğruluğu

Sınıflandırma başarımlı olarak en düşük performans bu çalışmada önerilen ESA mimarisinden elde edilmiştir. Diğer taraftan k-EYK sınıflandırıcı algoritması ile yapılan sınıflandırmada doğruluğu en yüksek k-EYK-BBA modeli olduğu görülmüştür. Bu doğruluk başarımlına en yakın sonuç k-EYK-TBA modelidir. Boyut azaltma ve öznitelik elde etme yöntemlerinden en düşük doğrulama başarımlı k-EYK-YDG modeli ile bulunmuştur.

Bu sınıflandırmalar sonucu elde edilen model başarımlı metrikleri Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 3. ESA Mimarisi için Başarımlı Metrikleri

Sınıf	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skor
HD	0.96	0.86	0.91
OD	0.79	1.00	0.88
DO	0.79	0.91	0.84
ÇHD	0.82	0.91	0.86

ESA mimarisi başarımlı metrikleri değerlendirildiğinde, kesinlik ve f1-skor metrik değeri en yüksek HD sınıfında, duyarlık metrik değeri ise OD sınıfında elde edildiği görülmüştür.

Tablo 4. K-EYK-BBA için Başarımlı Metrikleri

Sınıf	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skor
HD	1.00	0.97	0.98
OD	0.95	1.00	0.97
DO	0.98	0.99	0.98
ÇHD	0.99	0.97	0.98

k-EYK-BBA modeli ile yapılan sınıflandırmada elde edilen metrik değeri en yüksek HD sınıfından, duyarlık metrik değeri en yüksek OD sınıftan ve f1-skorun ise üç sınıf için aynı olduğu görülmüştür.

Tablo 4. K-EYK-TBA için Başarımlı Metrikleri

Sınıf	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skor
HD	0.95	0.93	0.94
OD	0.90	1.00	0.95
DO	0.96	0.98	0.97
ÇHD	0.95	0.94	0.94

k-EYK-TBA modelinde elde edilen metrik değeri en yüksek DO sınıftan, duyarlık metrik değeri ise en yüksek OD sınıftan elde edilmiştir.

Tablo 5. K-EYK-YDG için Başarımlı Metrikleri

Sınıf	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skor
HD	0.86	0.89	0.87
OD	0.95	1.00	0.97
DO	0.93	0.93	0.93
ÇHD	0.90	0.89	0.89

k-EYK-YDG modelinden yapılan sınıflandırmada elde edilen metrik değeri en yüksek OD sınıfında bulunmuştur.

ESA, TBA, BBA ve YDG temelli yapılan k-EYK sınıflandırma başarımlı metriklerinden duyarlık metrik değeri OD sınıf için 1.00 olarak bulunmuştur. Kesinlik ve f1-skor metrik değeri ise en yüksek BBA temelli k-EYK sınıflandırmada elde edilmiştir.

Literatürde farklı makine öğrenme yöntemleri kullanarak, MR görüntülerinden AH tespiti ile ilgili birçok çalışma

mevcuttur. Bu çalışmada kullanılan veri kümesine benzer çalışmaların karşılaştırılması Tablo 6 da verilmiştir.

Tablo 6. Literatür karşılaştırılması

Çalışma	Veri Kümesi	Doğruluk(%)
Öziç ve ark.[12]	140 görüntü, 2 sınıf	92.85
Oh ve ark.[13]	694 görüntü, 4 sınıf	86.60
Rieke ve ark.[14]	969 görüntü, 2 sınıf	77.00
Gupta ve ark. [26]	4315 görüntü, 3 sınıf	94.74
Jain ve ark.[27]	4800 görüntü, 3 sınıf	95.73
Liu ve ark.[28]	449 görüntü, 3 sınıf	88.90
Goenka ve ark. [29]	2206 görüntü, 3 sınıf	86.49-98.26
Bu çalışma	6400 görüntü,4 sınıf	88.44-98.22

Tablo 6 incelendiğinde, bu çalışmada kullanılan veri kümesinin diğer çalışmalara göre daha fazla görüntü içerdiği görülmektedir. Sınıflandırma başarımı bakımından bu çalışmanın kabul edilebilir bir model önerdiği söylenebilir.

Sonuç

Bu çalışmada dört farklı sınıf içeren MR görüntüleri farklı teknikler kullanılarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma sonucu elde edilen başarımların performansları ve önerilen modellere ait başarımların metrikleri hesaplanmıştır. Çalışmada en yüksek sınıflandırma başarımı BBA temelli k-EYK sınıflandırıcı ile bulunmuştur. En düşük sınıflandırma başarımı ise önerilen ESA mimarisinden elde edilmiştir. ESA mimarisi için elde edilen sonuçlar, bu çalışmada önerilen ESA mimarisi katmanları ve parametrelerine özgüdür. Ancak farklı ESA mimarileri kullanılarak, farklı sonuçlar elde edilebilir.

Çalışmada boyut azaltma ve öznetelik elde yöntemlerinin AH demans tespitinde etkili yöntemler olduğu görülmüştür. MR görüntülerinden, BBA tekniği kullanılarak diğer tekniklere göre daha iyi öznetelik elde edilmektedir. Bu çalışmaya dayanarak MR görüntülerinden AH demans tespiti için BBA temelli k-EYK sınıflandırıcının daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Sonraki çalışmalarda, AH demans tespiti için, ön-egitimli ESA mimarileri kullanılarak sınıflandırma yapılabilir. Bunun yanısıra, farklı mimarilerin performansları ile bu mimarilerden elde edilen öznetelikler, klasik sınıflandırıcılarda değerlendirilebilir.

Kaynaklar

- [1] Alzheimer's Association. (2019). 2019 Alzheimer's disease facts and figures. *Alzheimer's & dementia*, 15(3), 321-387.
- [2] Beach, T. G., Monsell, S. E., Phillips, L. E., & Kukull, W. (2012). Accuracy of the clinical diagnosis of Alzheimer disease at National Institute on Aging Alzheimer Disease Centers, 2005–2010. *Journal of neuropathology and experimental neurology*, 71(4), 266-273.
- [3] van Maurik, I. S., Zwan, M. D., Tijms, B. M., Bouwman, F. H., Teunissen, C. E., Scheltens, P., ... & Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. (2017). Interpreting biomarker results in individual patients with mild cognitive impairment in the Alzheimer's biomarkers in daily practice (ABIDE) project. *JAMA neurology*, 74(12), 1481-1491.
- [4] Wadhwa, A., Bhardwaj, A., & Verma, V. S. (2019). A review on brain tumor segmentation of MRI images. *Magnetic resonance imaging*, 61, 247-259.
- [5] Khojaste-Sarakhsi, M., Haghighi, S. S., Ghomi, S. F., & Marchiori, E. (2022). Deep learning for Alzheimer's disease diagnosis: A survey. *Artificial Intelligence in Medicine*, 102332.
- [6] Janecek, A., Gansterer, W., Demel, M., & Ecker, G. (2008, September). On the relationship between feature selection and classification accuracy. In *New challenges for feature selection in data mining and knowledge discovery* (pp. 90-105). PMLR.
- [7] Shanmugam, J. V., Duraisamy, B., Simon, B. C., & Bhaskaran, P. (2022). Alzheimer's disease classification using pre-trained deep networks. *Biomedical Signal Processing and Control*, 71, 103217.
- [8] Park, C., Ha, J., & Park, S. (2020). Prediction of Alzheimer's disease based on deep neural network by integrating gene expression and DNA methylation dataset. *Expert Systems with Applications*, 140, 112873.
- [9] Liu, C. F., Padhy, S., Ramachandran, S., Wang, V. X., Efimov, A., Bernal, A., ... & Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. (2019). Using deep Siamese neural networks for detection of brain asymmetries associated with Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *Magnetic resonance imaging*, 64, 190-199.
- [10] Lee, E., Choi, J. S., Kim, M., Suk, H. I., & Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. (2019). Toward an interpretable Alzheimer's disease diagnostic model with regional abnormality representation via deep learning. *Neuroimage*, 202, 116113.

- [11] Goenka, N., & Tiwari, S. (2022). AlzVNet: A volumetric convolutional neural network for multiclass classification of Alzheimer's disease through multiple neuroimaging computational approaches. *Biomedical Signal Processing and Control*, 74, 103500.
- [12] Öziç, M. Ü., & Özşen, S. (2020). 3B alzheimer MR görüntülerinin hacimsel kayıp bölgelerindeki voksel değerleri kullanılarak sınıflandırılması. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7(3), 1152-1166.
- [13] Oh, K., Chung, Y. C., Kim, K. W., Kim, W. S., & Oh, I. S. (2019). Classification and visualization of Alzheimer's disease using volumetric convolutional neural network and transfer learning. *Scientific Reports*, 9(1), 1-16.
- [14] Rieke, J., Eitel, F., Weygandt, M., Haynes, J. D., & Ritter, K. (2018). Visualizing convolutional networks for MRI-based diagnosis of Alzheimer's disease. In *Understanding and Interpreting Machine Learning in Medical Image Computing Applications* (pp. 24-31). Springer, Cham.
- [15] <https://www.kaggle.com/datasets/tourist55/alzheimers-dataset-4-class-of-images>
- [16] Mita, J. H., Babu, C. G., & Shankar, M. G. (2021, March). Performance analysis of dimensionality reduction using PCA, KPCA and LLE for ECG signals. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1084, No. 1, p. 012005). IOP Publishing
- [17] Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Principal component analysis. *Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics*, 2(4), 433-459.
- [18] Liu, X., & Zhao, C. (2022). Research on Image Feature Extraction Algorithm of the Egg and Egg White Protein Thermal Gelation Based on PCA/ICA. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022.
- [19] Hyvärinen, A. (1999). Survey on independent component analysis.
- [20] Roweis, S. T., & Saul, L. K. (2000). Nonlinear dimensionality reduction by locally linear embedding. *science*, 290(5500), 2323-2326.
- [21] Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, 25.
- [22] Albawi, S., Mohammed, T. A., & Al-Zawi, S. (2017, August). Understanding of a convolutional neural network. In *2017 international conference on engineering and technology (ICET)* (pp. 1-6). Ieee.
- [23] Peterson, L. E. (2009). K-nearest neighbor. *Scholarpedia*, 4(2), 1883.
- [24] Liao, Y., & Vemuri, V. R. (2002). Use of k-nearest neighbor classifier for intrusion detection. *Computers & security*, 21(5), 439-448.
- [25] Tharwat, A. (2020). Classification assessment methods. *Applied Computing and Informatics*, 17(1), 168-192.
- [26] Gupta, A., Ayhan, M., & Maida, A. (2013, May). Natural image bases to represent neuroimaging data. In *International conference on machine learning* (pp. 987-994). PMLR.
- [27] Jain, R., Jain, N., Aggarwal, A., & Hemanth, D. J. (2019). Convolutional neural network based Alzheimer's disease classification from magnetic resonance brain images. *Cognitive Systems Research*, 57, 147-159.
- [28] Liu, M., Li, F., Yan, H., Wang, K., Ma, Y., Shen, L., ... & Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. (2020). A multi-model deep convolutional neural network for automatic hippocampus segmentation and classification in Alzheimer's disease. *Neuroimage*, 208, 116459.
- [29] Goenka, N., & Tiwari, S. (2022). AlzVNet: A volumetric convolutional neural network for multiclass classification of Alzheimer's disease through multiple neuroimaging computational approaches. *Biomedical Signal Processing and Control*, 74, 103500.



Farklı dillerdeki metinler üzerinde yapılan duygu analizi çalışmalarının incelenmesi

Analysis of sentiment analysis studies on texts in different languages

Seda Kılıçer^{1,2*}, Ruya Samli²¹ Beykent Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, sedakilicer@beykent.edu.tr

ORCID: 0000-0002-3464-6219

² İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, ruyasamli@istanbul.edu.tr

ORCID: 0000-0002-8723-1228

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 13 Temmuz 2022
Revizyon 24 Ağustos 2022
Kabul 15 Eylül 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

Duygu analizi,
Sözlük tabanlı yaklaşım,
Makine öğrenmesi yaklaşımı,
Hibrit yaklaşım,
Sınıflandırma algoritmaları.

ÖZ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte veri miktarı hızlı bir şekilde artmaktadır, sürekli artan bu verilerden faydalı bilgilerin bulunması, ihtiyaçlarımız ile ilgili çözümlerin manuel bir şekilde veriler arasında tespit edilebilmesi pek mümkün olmayacaktır. Bunun için veriler işlenmediği sürece anlamlı analizlerin yapılarak faydalı bilgilerin elde edilmesi çok zor olacaktır. Bu sebeple bu büyük verilerin sistemler aracılığıyla hızlı bir şekilde bilgiye dönüştürülmesi ve insanlar tarafından kullanılabilir hale dönüştürülebilmesi hedeflenmektedir.

Duygu analizi, bir metnin olumlu, olumsuz veya nötr gibi duygulardan hangisine daha yakın olduğunu sonucunun farklı yöntemler kullanılarak elde edilmesidir. Bu çalışmada son on yılda (2013-2022) yapılan duygu analizi çalışmaları ele alınmış, değerlendirilmiş ve sınıflandırılmıştır. Bu amaçla sözlük tabanlı yaklaşım, makine öğrenmesi yaklaşımı ve hibrit yaklaşım yöntemleri kullanılarak duygu analizi yapılan 68 çalışma incelenmiştir. Çalışmalar ilk olarak duygu analizinde kullanılan yöntemlere göre, sonrasında verilerin elde edilme şekillerine ve incelenen metnin diline göre sınıflandırılmıştır. Bunlar dışında duygu analizinde kullanılan yöntemlere göre uygulanan adımlar detaylı olarak incelenmiştir. Duygu analizi çalışmalarında elde edilen başarı oranlarının artırılabilmesi için incelenen çalışmalar tablolar aracılığıyla karşılaştırılmıştır. Her yöntem kendi içerisinde değerlendirilerek daha başarılı sonuçlar elde edilebilmesi için incelenen kriterler ve elde edilen sonuçlar arasındaki bağlantılar araştırılmıştır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 July 2022
Received in revised form 24 August 2022
Accepted 15 September 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Sentiment analysis,
Dictionary-based approach,
Machine learning approach,
Hybrid approach,
Classification algorithms.

ABSTRACT

With the development of technology, the amount of data is increasing rapidly, it will not be possible to find useful information from this ever-increasing data and to determine the solutions related to our needs manually among the data. As long as the data is not processed for this purpose, it will be very difficult to obtain useful information by making meaningful analyzes. For this reason, it is aimed to transform this big data into information quickly through systems and to make it usable by people.

Sentiment analysis is the use of different methods to obtain the result of which of the emotions a text is closer to, such as positive, negative or neutral. In this study, sentiment analysis studies conducted in the last ten years (2013-2022) were discussed, evaluated and classified. For this purpose, 68 studies in which sentiment analysis was performed using dictionary-based approach, machine learning approach and hybrid approach methods were examined. Studies were first classified according to the methods used in sentiment analysis, and then according to the way the data were obtained and the language of the text examined. Apart from these, the steps applied according to the methods used in sentiment analysis were examined in detail. In order to increase the success rates obtained in sentiment analysis studies, the studies examined were compared through tables. Each method is evaluated within itself and the connections between the criteria examined and the results obtained are investigated in order to obtain more successful results.

Doi: 10.24012/dumf.1143479

* Sorumlu Yazar

Giriş

İnsanlar çoğu zaman diğer insanların fikirlerine ihtiyaç duymaktadır. Bir konu hakkında tercih yapmaları gerektiği zamanlarda, bir ürün veya mekan hakkında karar vermeleri gerektiği durumlarda diğer insanların deneyimleri merak edilmektedir. Bunun için insanların duygu ve düşüncelerini paylaşacakları çeşitli imkanlar verilmiştir. Farklı kategorilere göre farklı platformlarda çok sayıda yorum bulunabilir. Ancak bu yorumların tek tek okunması ve bir sonuca varılması çok zor olacağı için bu işlemin sistemler tarafından hızlıca yapılması beklenmektedir. Birçok yorumun hızlıca değerlendirilebilmesi için metinlerin analiz edilerek bir sonuç elde edilebilmesi için metinler üzerinde duygu analizi yapılmaktadır.

Duygu analizi işlemi, sözlük tabanlı yaklaşım, makine öğrenmesi yaklaşımı ve hibrit yaklaşım olmak üzere 3 farklı şekilde yapılabilir. Sözlük tabanlı yaklaşım genel olarak veri miktarının az olduğu durumlarda tercih edilen bir yöntemdir. Çünkü incelenecek kelimeler ve her kelimenin ağırlığını içeren bir sözlük kullanılarak olumlu, olumsuz ve nötr şeklinde sonuçların elde edilmesi hedeflenmektedir. Makine öğrenmesi yaklaşımı, metinler üzerinde çeşitli sınıflandırma algoritmaları kullanılarak duygu analizi yapılmasıdır. Hibrit yaklaşım, sözlük tabanlı yaklaşım ve makine öğrenmesi yaklaşımını birlikte kullanılarak metin üzerinde duygu analizi yapılmasıdır. Ancak hibrit yaklaşım olarak değerlendirilen bazı çalışmalarda sözlük tabanlı yaklaşım ve makine öğrenmesi yaklaşımları ayrı ayrı uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Burada incelenen çalışmalarda her iki şekildeki çalışmalardan da bahsedilmiştir.

Metinler üzerinde yapılan duygu analizi çalışmaları incelendiğinde verilerin farklı yöntemlerle elde edildiği, farklı dille yazılan metinlerin kullanıldığı ve sonuçların elde edilebilmesi için farklı yaklaşımların kullanıldığı gözlenmiştir. Bu nedenle incelenen çalışmalar bu kriterler dikkate alınarak incelenmiştir.

2. Sözlük tabanlı yaklaşım

Metinler üzerinde yapılan duygu analizi çalışmaları detaylı olarak incelenirken ilk olarak sözlük tabanlı yaklaşım kullanılarak yürütülen çalışmalar incelenmiştir. Burada 2016-2022 yılları arasında yapılmış toplam 13 çalışma (7'si Türkçe, 6'sı farklı diller) ele alınmıştır.

Sözlük tabanlı yaklaşım kullanılarak yapılan duygu analizi çalışmalarında ilk olarak Twitter sosyal medya sitesinden elde edilen Türkçe metinler üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Twitter sosyal medya sitesi insanların sınırlı sayıda harf ve karakter kullanarak duygu ve düşüncelerini paylaştıkları bir paylaşım sitesidir. Bu platformda insanlar etiket kelimeler kullanarak aynı konu hakkında toplu olarak duygu ve düşüncelerini herkese açık bir şekilde paylaşabilmektedir. Böylece bir konu hakkında farklı insanlar tarafından belirtilen farklı görüşler ile ilgili bir duygu veya düşünce kümesi oluşturulmaktadır. Bu etiketler sayesinde Twitter sosyal medya sitesi üzerinden bir konu hakkında hızlı bir şekilde çok fazla veri elde edilebilmektedir. Ayrıca Twitter sosyal medya sitesinden Twitter uygulama programlama arayüzü (Application Programming Interface -API) kullanılarak kolay ve hızlı bir şekilde veri elde edilebilmektedir. Bunun için Twitter sosyal

medya sitesi duygu analizi çalışmalarında sıklıkla tercih edilmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan veri kümeleri, sözlükler ve çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

2016 yılında yapılan [1] referanslı çalışmada kullanılan veriler Twitter ortamından elde edilmiştir. Bu çalışmada elle etiketleme yapılarak oluşturulan 500, 1.200 ve 5.100 adet tweet içeren üç farklı veri seti oluşturulmuştur. Türk Dil Kurumu'na ait verilerden faydalanılarak elde edilen sözlük kullanılarak duygu analizi yapılmış ve elde edilen sonuçların kıyaslanabilmesi için F-skoru tercih edilmiştir. Çalışma sonucunda sözlük tabanlı yöntem ile en yüksek F-skor değerleri sırasıyla %70, %71 ve %72 olarak elde edilmiştir. 2019 yılında yapılan [2] referanslı çalışmada Twitter üzerinden Aziz SANCAR ile ilgili 300 tweet, Beşiktaş ile ilgili 364 tweet ve Arçelik ile ilgili 537 tweetten oluşan 3 farklı veri setleri üzerinde sözlük tabanlı yaklaşım kullanılarak duygu analizi yapılmış ve en yüksek doğruluk oranı Aziz SANCAR konusu ile ilgili veri seti ile %88,2 olarak elde edilmiştir. 2019 yılında yapılan [3] referanslı çalışmada hava durumu ve çok izlenen Survivor programı ile ilgili Twitter verileri üzerinde inceleme yapılmıştır. Duygu kütüphanesi oluşturularak veriler üzerinde duygu analizi yapılmış ve beklenen değerler ile elde edilen sonuçların uyumlu olduğu gözlenmiştir. 2021 yılında yapılan [4] referanslı çalışmada kullanılan veriler sözlük tabanlı yaklaşımla ve insanlar tarafından sınıflandırılarak sistemin performansı karşılaştırılmıştır. Sistem ile insanların sınıflandırmasını karşılaştırabilmek için Twitter üzerinden elde edilen veriler kullanılmış ve sözlük olarak da SentiTurkNet sözlüğü kullanılmıştır. Duygu ifadesi insanlar tarafından net bir şekilde anlaşılan cümlelerde başarılı olduğu ancak negatif ve yoruma açık olan cümlelerin duygu analizinde yeterince başarılı sonuçlar elde edilemediği gözlenmiştir.

Sözlük tabanlı yaklaşım ile hazır veri setleri veya farklı web sitelerinden elde edilen Türkçe metinler üzerinde yapılan duygu analizi çalışmaları aşağıda incelenmiştir.

2017 yılında yapılan [5] referanslı çalışmada film yorumlarından oluşan 14.949 cümle WordNet duygu sözlüğü kullanılarak incelenmiş ve film yorumları veri setinde en yüksek doğruluk %55 olarak elde edilmiştir. 2019 yılında yapılan [6] referanslı çalışmada dengeli ve farklı sayılarda sinema film yorumları, e-ticaret sitesindeki kitap yorumları ve metinden oluşan 3 farklı veri seti kullanılmıştır. Afinn, Bing, Nrc, SentiTurk sözlükleri kullanılarak kutupluluğa (Olumlu veya Olumsuz) ve kategoriye (Zayıf veya Güçlü) göre duygu analizi sonucunda sırasıyla %82,85, %74,92 ve %77,50 doğruluk oranları elde edilmiştir. 2021 yılında yapılan [7] referanslı çalışmada Yükseköğretim kurumundaki Türkçe tezler taranarak elde edilen veriler manuel olarak oluşturulan duygu sözlüğü kullanılarak incelenmiştir. Duygu sözcükleri el ile etiketlendikten sonra verilerin %10'u 10 kişi tarafından tekrar etiketlenmiş ve %95 oranında başarılı olduğu gözlenmiştir.

Sözlük tabanlı yaklaşım kullanılarak Türkçe olmayan metinler üzerinde de duygu analizi çalışmaları yapılmıştır. Aşağıda incelenen çalışmalarda kullanılan veriler Twitter sosyal medya sitesinden veya farklı web sitelerden elde edilmiştir.

Twitter verileri kullanılarak yapılmış olan duygu analizi çalışmalarından biri 2018 yılında [8] referanslı çalışmada

Türkçe ve İngilizce tweetler toplanmıştır. İngilizce tweetlerin duygu analizi için Rsentiment içerisindeki duygu sözlüğü kullanılırken Türkçe tweetlerin analiz edilebilmesi için yeni bir duygu sözlüğü geliştirilmiş ve geliştirilen Türkçe sözlük ile manuel değerlendirmenin tutarlı olduğu sonucu elde edilmiştir. 2019 yılında yapılan [9] referanslı çalışmada Sentiment.140 isimli sitedeki Twitter'dan elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu çalışmada SentiWordNet sözlüğü kullanılmış ve en yüksek doğruluk %74,80 olarak elde edilmiştir. 2022 yılında yapılan [10] referanslı çalışmada Twitter sosyal medya sitesinden elde edilen 110.883 tweet kullanılmış ve Bing sözlüğü kullanılarak duygu analizi sonucunda salgın ile ilgili paylaşılan metinlerin olumlu bir yaklaşıma sahip olduğu sonucu elde edilmiştir. 2022 yılında yapılan [11] referanslı çalışmada Twitter sosyal medya sitesinden elde edilen Sinovac ve BionTech aşılı ile ilgili 21.676 tweet incelenmiştir. Burada NRC (National Research Council of Canada - Kanada Ulusal Araştırma Konseyi) sözlüğü kullanılmıştır. Kelime düzeyinde yapılan analiz sonucunda Biontech marka aşısı ile ilgili pozitif yorumların daha çok olduğu ve her iki marka için de tarafsız yorumların benzer oranlarda olduğu gözlenmiş, cümle düzeyinde yapılan analiz sonucunda ise Sinovac marka aşısı ile ilgili daha olumlu paylaşımlar yapıldığı sonucu elde edilmiştir. Yine kullanıcıların markalara göre duygularının analizinde de Sinovac marka aşısı daha çok güven duyulduğu sonucu elde edilmiştir. Twitter dışında farklı yollardan elde edilen veriler kullanılarak sözlük tabanlı yaklaşımla duygu analizi çalışmaları incelendiğinde 2017 yılında yapılan [12] referanslı çalışmada seyahat platformu olan Ly.com'dan elde edilen 30.000 yorum incelenmiştir. Çince kelimelerde oluşan Affective Lexicon Ontology sözlüğü kullanılmış ve duygu analizi sonucu turistik yerlerin sıralaması ile sitedeki sıralamaların tutarlı olduğu sonucu elde edilmiştir 2018 yılında [13] referanslı çalışmada Amazon ürün incelemelerinden ve SemEval-2007'deki haber başlıklarını içeren veriler kullanılmıştır. WKWSCI (Wee Kim Wee School of Communication and Information-Wee Kim Wee İletişim ve Bilgi Okulu) duygu sözlüğü tanıtılmıştır. Daha sonra bu sözlük ile elde edilen sonuçlar ve Hu & Liu Fikir Sözlüğü, MPQA (Multi-perspective Question Answering Çok Perspektifli Soru Cevaplama) Öznellik Sözlüğü, Genel Sorgulayıcı, NRC(National Research Council Canada - Ulusal Araştırma Konseyi Kanada) sözlük duyarlılığı sözlüğü, SO-CAL (Semantic Orientation Calculator - Anlamsal Yönelim Hesaplayıcısı) sözlükleri ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ürün incelemelerinin belge düzeyinde duyarlılık ile duygu analizinde en yüksek doğruluk oranı Hu & Liu sözlüğü ile %75 olarak elde edilirken haber başlıklarından oluşan verilerde duygu analizinde en yüksek doğruluk oranı WKWSCI sözlüğü ile %69 olarak elde edilmiştir. Sözlük tabanlı yaklaşım kullanılarak incelenmiş çalışmalarda kullanılan metnin dili, kullanılan veri seti, kullanılan sözlük gibi kriterlerin elde edilen sonuçlar üzerindeki etkisi merak edilmiştir. Bu amaçla Tablo 1'de sözlük tabanlı yaklaşım kullanılarak yapılan duygu analizi çalışmalarında incelenen dil, veri seti, kullanılan sözlük ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Tablo 1. Sözlük tabanlı yaklaşımda farklı kriterlerin karşılaştırılması.

Referans	Dil	Veri Seti	Sözlükler	Sonuçlar
[1]	Türkçe	Twitter: VS1, VS2, VS3 veri setleri	Yeni sözlük	En yüksek F-skoru: • VS3 veri seti ile %72 olarak elde edilmiştir.
[2]	Türkçe	Twitter: •Aziz Sancar •Beşiktaş •Arçelik veri setleri	Yeni sözlük	En yüksek doğruluk oranı: • Aziz Sancar veri seti ile %88,2 olarak elde edilmiştir.
[3]	Türkçe	Twitter: •Mevsimleri n etkisi için genel tweetler •Survivor isimli program ile ilgili tweetler	Türkçe duygu kütüphanesi	Duygu analizi sonrasında karşılaşılan sonuçların beklenen değerlerle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.
[4]	Türkçe	50 cümle	SentiTurk Net	•Yorumla açık cümleler için başarılı sonuçlar elde edilmiştir. •Negatif cümle analizi konusunda ise uygulamanın yeteriz kaldığı gözlenmiştir.
[5]	Türkçe	Olumlu ve olumsuz olarak etiketlenmiş film yorumlarınd an oluşan 14.949 cümle	Türkçeye çevrilen WordNet	•En yüksek doğruluk oranı: %55 olarak elde edilmiştir.
[6]	Türkçe	•Filmler ile ilgili yorumlar: 35 pozitif, 35 negatif, •Ticaret verileri ile ilgili: 700 pozitif 700 negatif, •Metinlerden elde edilen veriler: 10.000 olumlu 10.000 olumsuz	Farklı sayıda kelime içeren 3 sözlük	• Olumlu/Olumsuz, Zayıf/Güçlü özelliklerine göre incelendiğinde en yüksek belirtilen sırayla doğruluk oranları: %82,85, %74,92 ve %77,50 olarak elde edilmiştir.
[7]	Türkçe	Yüksek Öğrenim Kurumu web sitesinden indirilen 113 tez çalışması	Yeni marka imaj sözlüğü	Rastgele seçilen %10'luk bir kısmın 10 kişiye tekrar etiketlenilmesi sonucunda, %95 tutarlı bir sözlük oluşturulmuştur.
[8]	Türkçe/İngilizce	Twitter: •Türkçe 97.850 tweet •İngilizce 250.857 tweet	•Rsentiment •Yeni Türkçe sözlük	•Türkçe tweetler genel olarak olumlu, olumsuz nötr arasında eşit dağıldığı sonucu elde edilmiştir. •İngilizce tweetler nötr ve olumsuz arasında dağıldığı sonucu elde edilmiştir.
[9]	Türkçe Olmayan	Sentiment.140 veri	•SentiWordNet	•SentiWordNet sözlüğü

		setinden elde edilen veriler	•Domain Focused sözlüğü	kullanılarak %68,20 doğruluk elde edilmiştir.
[10]	Türkçe Olmayan	110.883 Bing Twitter verisi	Bing sözlüğü	•Hibrit sözlük kullanılarak %74,80'lik bir hassasiyet elde edilmiştir. Salgın ile ilgili yapılan paylaşımların olumlu yaklaşıma sahip olduğu gözlenmiştir.
[11]	Türkçe Olmayan	Twitter: Sinovac ve BionTech aşılı ile ilgili 21.676 tweet	NRC sözlüğü	•Kelime düzeyinde yapılan analiz sonucunda Biontech marka aşılı ile ilgili pozitif yorumların daha çok olduğu gözlenmiştir. •Cümle düzeyinde yapılan analiz sonucunda Sinovac marka aşılı ile ilgili daha olumlu paylaşımlar yapıldığı sonucu elde edilmiştir.
[12]	Türkçe Olmayan	Çinli seyahat rezervasyon platformu olan Ly.com'dan alınan 130.000 yorum	Çince Affective Lexicon Ontology	Hesaplama yöntemi kullanılarak en iyi on turistik yer puanlanmış ve sıralama sonuçlarının Ly.com'un sıralamasıyla oldukça tutarlı olduğu gözlenmiştir.
[13]	Türkçe Olmayan	Amazon ürün incelemesi veri seti SemEval-2007 veri seti	•WKWSC I •Hu & Liu •MPQA •Özellik Sözlüğü •Genel Sorgulayıcı •NRC sözlük duyarlılığı sözlüğü, •SO-CAL	•Ürün veri seti ile en yüksek doğruluk oranı Hu & Liu sözlüğü ile %75 olarak elde edilmiştir. •SemEval veri seti ile en yüksek doğruluk oranı WKWSC sözlüğü ile %69 olarak elde edilmiştir.

3. Makine öğrenmesi yaklaşımı

Metinler üzerinde yapılan duygu analizi çalışmaları detaylı olarak incelemeye devam edilirken bu kısımda makine öğrenmesi yaklaşımı kullanılarak yürütülen çalışmalar incelenmiştir. Makine öğrenmesi yaklaşımı kullanılarak 2013-2022 yılları arasında yapılmış toplam 41 çalışma (15'i Türkçe, 26'sı farklı diller) ele alınmıştır.

Makine öğrenmesi yaklaşımı kullanılarak yapılan duygu analizi çalışmalarında ilk olarak Twitter sosyal medya sitesinden elde edilen Türkçe metinler üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan veri kümeleri, veriler üzerinde yapılan işlemler, makine öğrenmesi yaklaşımı algoritmaları ve çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

2013 yılında yapılan [14] referanslı çalışmada Telekom sektörüne ait iki farklı şirketin Twitter gönderilerinden iki

veri seti oluşturulmuştur. Metinleri temsil etmek için Karakter N-gram ve Kelime kökleri yöntemleri ve terim ağırlıklandırma için eğitici ve geleneksel yöntemler kullanılmıştır. Naive Bayes (NB), Sıralı Minimum Optimizasyon (Sequential Minimal Optimization-SMO), Karar Ağacı (Decision Tree-DT (J48)), Rastgele Orman (Random Forest- RF) ve 1-En Yakın Komşu (1-Nearest Neighbors-IB1) algoritmaları kullanılmıştır. Her iki veri seti ile de en yüksek başarı Karakter N-gram ve RF eğitici terim ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak SMO algoritmasıyla %65 olarak elde edilmiştir. 2014 yılında yapılan [15] referanslı çalışmada gıda sektöründeki farklı firmaların ürünleri ile ilgili Twitter gönderilerinden dengeli ve dengesiz iki farklı veri seti oluşturulmuştur. NB, RF, SMO, DT (J48) ve IB1 algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk dengeli veri seti ve SMO algoritması kullanılarak %72,33 olarak elde edilmiştir. 2015 yılında yapılan [16] referanslı çalışmada Samsung, Apple, LG firmaları ile ilgili Twitter gönderilerinden 3 farklı veri seti oluşturulmuştur. NB, RF, DT (J48), Destek Vektör Makinesi (LibSVM), K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbours-KNN) algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk oranları Apple veri setinde NB algoritması ile %52,9, Samsung veri setinde NB algoritması ile %56,53 ve LG veri setinde NB algoritması ile %65,63 olarak elde edilmiştir. 2015 yılına ait olarak incelenen bir diğer çalışma olan [17] referanslı çalışmada Twitter gönderilerinden elde edilen verilerde özniteliklerin çıkarılması için Kelime torbası (Bag of Words-BoW) ve N-gram yöntemleri kullanılmıştır. KNN, NB, Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine-SVM) ve Çok Terimli Naive Bayes (Multinomial Naive Bayes-MNB) algoritmaları kullanılmıştır.

En yüksek sınıflandırma başarısı N-gram kullanılarak KNN ve SVM algoritmaları ile %65 olarak elde edilmiştir. 2016 yılında yapılan [18] referanslı çalışmada Twitter'dan elde edilen veriler kullanılmış ve bu veriler konu bilgisine göre etiketlenmiştir. Özniteliklerin çıkarılmasında BoW ve N-gram yöntemleri kullanılmıştır. SVM, NB, MNB ve KNN algoritmaları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en yüksek başarı BoW ile MNB algoritması kullanılarak %92,50 olarak bulunmuştur.

2017 yılında yapılan [19] referanslı çalışmada Telekomünikasyon sektöründeki bir firmaya ait Twitter gönderilerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Niteliklerin bulunmasında BoW yöntemi kullanılarak Kikare, Bilgi Kazanımı, Sorgu Genişletme Sıralaması ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) gibi farklı nitelik seçim yöntemleri karşılaştırılmıştır. Maksimum Entropi (ME) kullanılmıştır ve en yüksek F-skoru KKO kullanılarak %78 olarak elde edilmiştir. 2017 yılında incelenen bir diğer çalışma olan [20] referanslı çalışmada Twitter gönderilerinden elde edilen veriler ve NB, SVM, Lojistik Regresyon ((Logistic Regression-LR) algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğru sınıflandırma oranı öznitelik temsili olarak 1-gram+2-gram kullanılarak NB ve LR algoritmaları ile %77 olarak bulunmuştur.

2020 yılında yapılan [21] referanslı çalışmada Twitter gönderilerinden elde edilen veriler daha yüksek başarı oranı elde edilebilmesi için 5 farklı konu başlığına göre olumlu ve olumsuz şeklinde kurallı eğitim setleri oluşturularak analiz edilmiş ve LR algoritması kullanılmıştır. Performans ölçütü olarak Alıcı İşletim karakteristiği (Receiver Operating

Characteristic-ROC) eğrisinin altındaki alan (Area Under Curve -AUC) değeri kullanılmıştır ve en iyi sonuç sokağa çıkma yasağı konu başlığı için %98 olarak elde edilmiştir. 2021 yılında yapılan [22] referanslı çalışmada Twitter gönderilerinden elde edilen veriler Pandas isimli kütüphane kullanılarak pozitif ve negatif olarak etiketlenmiştir. NB, KNN, SVM, LR ve DT algoritmaları kullanılmıştır. Performans ölçütü olarak F-skoru kullanılmıştır ve en iyi sonuç SVM algoritması ile %73 olarak elde edilmiştir.

Makine öğrenmesi yaklaşımı ile hazır veri setleri veya farklı web sitelerinden elde edilen Türkçe metinler üzerinde yapılan duygu analizi çalışmaları aşağıda incelenmiştir.

2017 yılında yapılan [23] referanslı çalışmada elektronik cihazlar ile ilgili müşteri yorumlarını içeren bir e-ticaret sitesinden elde edilen yorumlar kullanılmıştır. RF algoritması kullanılmıştır ve %84,23 doğruluk elde edilmiştir. 2019 yılında yapılmış olan [24] referanslı çalışmada bir e-ticaret sitesindeki üç farklı cep telefonu markası ile ilgili yapılmış yorumlar kullanılmıştır. Veri etiketleme işlemi için kullanıcıların verdikleri yıldız bilgisi kullanılmıştır. NB, SVM, KNN algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk oranı SVM algoritması ile pozitif etiketliler için %77,69 ve negatif etiketliler için %74,19 olarak elde edilmiştir. 2019 yılında yapılan [25] referanslı çalışmada eğitim modeli için Türkçe duygu veri seti (The Turkish emotion data set-TREMO) hazır veri setindeki veriler kullanılmıştır. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network-ANN), SVM, RF ve KNN algoritmaları kullanılmıştır. Karışıklık matrisi oluşturulmuştur ve en yüksek doğruluk ANN algoritması kullanılarak mutluluk etiketi için %89 olarak bulunmuştur. 2019 yılında incelenmiş olan [26] referanslı çalışmada Facebook sitesinden şirketlerle ilgili alınan veriler kullanılmıştır. ANN, DT, SVM, NB, LR, KNN ve Extreme Gradient Boosting (XGBoost) algoritmaları kullanılmıştır. Bütün algoritmalar ile yaklaşık %70 oranında doğruluk elde edilmiştir ancak en yüksek doğruluk LR algoritması ile %74,13 olarak elde edilmiştir. 2020 yılında yapılmış olan [27] referanslı çalışmada çevrimiçi kitap sitesindeki kullanıcı yorumlarını içeren dengeli bir veri seti kullanılmıştır.

Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi-Layer Perceptron-MLP), NB, SVM ve LR algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek sınıflandırma başarısı MLP algoritması ile %89 olarak elde edilmiştir. 2021 yılında yapılan [28] referanslı çalışmada Yemek Sepeti sitesinden elde edilen veriler kullanılmıştır. ANN, SVM, KNN, NB ve Doğrusal Regresyon algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk oranı ANN algoritması kullanılarak %86 olarak elde edilmiştir.

Makine öğrenmesi yaklaşım kullanılarak Türkçe olmayan metinler üzerinde duygu analizi çalışmaları yapılmıştır. Aşağıda incelenen çalışmalarda kullanılan veriler Twitter sosyal medya sitesinden veya farklı web sitelerden elde edilmiştir.

Twitter verileri kullanılarak yapılmış olan duygu analizi çalışmalarından biri 2019 yılında yapılan [29] referanslı çalışmada Twitter gönderilerinden elde edilen veriler pozitif ve negatif olarak etiketlenerek kullanılmıştır. NB, KNN, SVM algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk NB algoritması ile %80,90 olarak elde edilmiştir. 2019 yılında yapılan [30] referanslı çalışmada Twitter gönderilerinden elde edilen veriler incelenmiştir. Toplanan veriler 5 gönüllü

kişi tarafından pozitif ve negatif olarak etiketlenmiştir. Fonksiyon olarak Doğrusal Ridge Regresyonu ve NB algoritmaları, başarı ölçütü olarak F-skor kullanılmıştır ve en yüksek F-skor Ridge Regresyonu ile %96,9 olarak elde edilmiştir. 2019 yılında yapılan [31] referanslı çalışmada Twitter gönderilerinden ve Kaggle Twitter ABD havayoluna ait verilerden oluşan 2 farklı veri seti kullanılmıştır. NB, RF, SVM, DT, KNN algoritmaları uygulanan çalışmada, en yüksek doğruluk oranları SVM algoritması ile Twitter veri seti için %83,67 olarak ve havayolu veri seti için %69 olarak elde edilmiştir.

2019 yılında yapılan [32] referanslı çalışmada Sentiment.140 Twitter gönderileri kullanılmıştır. SVM, RF, K-Ortalama Kümeleme algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk oranı K-Ortalama Kümeleme algoritması kullanılarak %74 olarak elde edilmiştir. 2020 yılında yapılan [33] referanslı çalışmada Kaggle Twitter ABD havayoluna ait veriler pozitif, negatif ve nötr olarak ayrılarak kullanılmıştır. ANN, DT ve SVM algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk oranı ANN algoritması ile %75,99 olarak elde edilmiştir. 2020 yılında [34] referanslı çalışmada Twitter gönderilerinden elde edilen veriler ve SVM, NB, LR, RF algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk NB algoritması ile yaklaşık %76 olarak elde edilmiştir. 2020 yılında yapılan [35] referanslı çalışmada farklı telefon modeller ile ilgili Twitter gönderilerinden elde edilen veriler ve NB, SVM, DT, RF algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk SVM algoritması ile %79,90 olarak elde edilmiştir. 2020 yılında yapılan [36] çalışmasında Twitter gönderilerinden elde edilen ve pozitif, negatif ve nötr olarak gruplandırılmış veriler kullanılmıştır. NB, SVM, ME algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk NB algoritması ile %86 olarak elde edilmiştir. 2020 yılındaki bir diğer incelenen çalışma olan [37] referanslı çalışmada Haryana Meclisi anketleri, The Sky is Pink film yorumları, United Nations General Assembly (UNGA), Howdy Modi konuları ile ilgili Twitter gönderilerinden elde edilen farklı veri setleri kullanılmıştır. NB, SVM, RF, Uzun Kısa Vadeli Bellek Ağları (Long Short-Term Memory-LSTM) algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk oranları Haryana Meclisi anketleri NB algoritması ile %96, The Sky is Pink SVM ile %98,29, UNGA NB algoritması ile %98, Howdy Modi RF algoritması ile %98,24 olarak elde edilmiştir. 2021 yılındaki [38] referanslı çalışmada Kaggle Twitter ABD havayoluna ait veriler kullanılmıştır. Terim ağırlıklandırma için Terim Frekansı-Ters Belge Frekansı (Term Frequency-Inverse Document Frequency-TF-IDF) ve BoW yöntemleri kullanılmıştır. SVM, MNB, RF, LR algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk oranı BoW ağırlıklandırma yöntemi ve SVM ve LR algoritmaları ile %77 olarak elde edilmiştir. 2021 yılında yapılan [39] referanslı çalışmada Twitter gönderilerinden elde edilen veriler manuel olarak pozitif ve negatif olarak etiketlenerek kullanılmıştır. SVM, LSTM ve Bernoulli Naive Bayes (BernoulliNB) algoritmaları karşılaştırılmıştır. En yüksek doğruluk oranı LSTM algoritması ile %79 olarak elde edilmiştir. 2021 yılında yapılan [40] referanslı çalışmada Twitter gönderilerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Oluşturulan modelin eğitimi için Sentiment.140 veri seti ve NB, LR, SVM algoritmaları kullanılmıştır. Algoritmaların performansını değerlendirmek için alıcı çalışma

özelliklerinin altındaki alan (Area Under the Receiver Operating Characteristics-AUROC) ve doğruluk oranları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk oranı Doğrusal Destek Vektör Makinesi (Linear Support Vector Machine-LinearSVM) algoritması ile %83,71 olarak elde edilmiş ancak AUROC değeri göz önüne alındığında LR algoritması ile %82,47'lik doğruluk oranı elde edilmiştir. 2021 yılında yapılan [41] referanslı çalışmada havayolu ile ilgili Twitter gönderileri kullanılmıştır. DT, SVM, KNN, SMO algoritmaları ve KNN+SVM, SMO+DT (SMODT) sınıflandırıcıları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk SMO+DT ile %89,47 olarak elde edilmiştir.

Twitter dışında farklı yollardan elde edilen veriler kullanılarak makine öğrenmesi yaklaşımıyla duygu analizi çalışmaları incelendiğinde 2016 yılında yapılan [42] referanslı çalışmada internet film veri tabanı (Internet Movie DatabaseIMDB) sitesindeki film yorumlarından elde edilen pozitif ve negatif olarak dengeli bir veri seti kullanılmıştır. NB, MLP, SVM ve Merkez Tabanlı Sınıflayıcı algoritmaları karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda eğitim veri setinde ANN algoritması ile %89 doğruluk elde edilirken test veri setinde MLP ve SVM algoritmaları ile %75 doğruluk elde edilmiştir. Tüm veriler ile en yüksek doğruluk oranı MLP algoritması ile %86 olarak elde edilmiştir. 2018 yılında [43] referanslı çalışmada UC (University of California) Irvine makine öğrenmesi deposundaki veriler kullanılmıştır. LR, DT (C4.5) ve NB algoritmaları kullanılmıştır.

En yüksek doğruluk LR algoritması ile %79 olarak elde edilmiştir. 2018 yılında yapılan [44] referanslı çalışmada IMDB sitesindeki İngilizce yazılmış film yorumları ve Beyazperde.com sitesindeki Türkçe yazılmış film yorumlarından elde edilen farklı boyutlardaki ancak pozitif ve negatif olarak dengeli olan 2 farklı veri seti kullanılmıştır. Terim ağırlıklandırılmasında Terim Frekansı (TF), TF-IDF, 1-gram, 2-gram, 1-2-gram ve Word2vec yöntemleri kullanılmıştır. NB, LR, DT, KNN, SVM, ANN algoritmaları kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda 1-gram yönteminin diğer N-gram yöntemlerine göre daha başarılı olduğu ve TF-IDF yönteminin de TF yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. İngilizce film yorumları üzerine yapılan incelemede en yüksek doğruluk ANN algoritması ile %88 olarak elde edilmiş iken Türkçe film yorumları üzerine yapılan incelemede en yüksek doğruluk LR algoritması ile %84 olarak elde edilmiştir. 2019 yılında yapılan [45] referanslı çalışmada TripAdvisor web sitesindeki çevrimiçi müşteri yorumlarından elde edilen veriler kullanılmıştır. TextBlob ve NB algoritması kullanılmıştır. En yüksek doğruluk NB algoritması ile %72 olarak elde edilmiştir. 2019 yılında yapılan [46] referanslı çalışmada Yelp veri setindeki veriler kullanılmıştır. NB, MNB, LR, BernoulliNB, Doğrusal Destek Vektör Kümeleme (Linear Support Vector Clustering-Linear SVC) algoritmaları karşılaştırılmıştır. En yüksek doğruluk oranı NB algoritması ile %79 olarak elde edilmiştir.

2019 yılındaki [47] referanslı çalışmada ise Twitter gönderilerinden ve farklı sitelerden elde edilen veri setleri kullanılmıştır. Bunlar Twitter sosyal medya sitesinden oluşan Arapça Duygu tweetleri Veri Kümesi (Arabic Sentiment tweets Dataset-ASTD), Stanford Twitter duyarlılığı külliyesi (Stanford), Twitter ABD Havayolu Duyarlılığı Veri Kümesi (ABD Havayolu), Qaym4, TripAdvisor web sitelerinden elde edilen restoran

yorumlarından oluşturulan veri kümesi (RES), Uber Ride İncelemeleri Veri Kümesi (Uber) veri setleridir. DT, KNN, LR, MLP algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk oranları RES veri setinde MLP algoritması ile %81, ASTD veri setinde LR algoritması ile %68, Stanford veri setinde LR algoritması ile %79, Uber veri setinde BernoulliNB ve KNN algoritmaları ile %84, ABD havayolu veri setinde BernoulliNB algoritması ile %76 olarak elde edilmiştir. 2019 yılında yapılan [48] referanslı çalışmada ise Tripadvisor.com web sitesinden elde edilen oteller ile ilgili yorumlar ve değerlendirme puanları kullanılmıştır ve elde edilen veriler değerlendirme puanlarına göre olumlu ve olumsuz şeklinde ayrılmıştır. LR, KNN, NB ve SVM algoritmaları karşılaştırılmıştır. En yüksek doğruluk oranı LR algoritması ile %92 olarak elde edilmiştir. 2020 yılında [49] referanslı çalışmada uzaktan eğitim öğrencileri için hazırlanan çevrimiçi materyaller ile ilgili yapılan geri bildirimlerden elde edilen veriler kullanılmıştır. DT, MLP, SVM, XGBoost, KNN, Çok Terimli Lojistik Regresyon ve Gaussian NB algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk oranı LR algoritması ile %77 olarak elde edilmiştir. 2021 yılında yapılan [50] referanslı çalışmada olumlu ve olumsuz yorum sayıları dengeli olan Amazon, Imdb, Yelp sitelerinden elde edilen veriler ve bu veri setlerinin birleştirilmesi ile oluşturulan yeni bir veri seti kullanılmıştır. SVM, KNN, NB, DT, RF algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk oranları SVM algoritması ile Amazon veri seti kullanılarak %79, Imdb veri seti kullanılarak %80, Yelp veri seti kullanılarak %79 ve birleştirilmiş veri seti kullanılarak %85 olarak elde edilmiştir. 2021 yılında yapılan [51] referanslı çalışmada Kaggle Amazon ürün yorumları verileri kullanılmıştır. NB, SVM, DT, LR algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk DT algoritması ile %94 olarak elde edilmiştir. 2022 yılında yapılan [52] referanslı çalışmada Apple, IBM ve NIKE şirketleri ile ilgili Yahoo Finance API'sinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Doğrusal Regresyon, DT, SVM, LSTM, Radyal Temel Fonksiyon ve Tekrarlayan Sinir Ağı (Recurrent Neural Network-RNN) algoritmaları kullanılmıştır. Bu çalışmada elde edilen başarılar mutlak hata yüzlerine göre kıyaslanmıştır ve en düşük hata oranı LSTM algoritmasıyla %2,81 olarak bulunmuştur. Apple, IBM ve NIKE için stok tahmini yapılarak gerçek değerler ile tahmini değerlerin birbirine çok yakın olduğu sonucu elde edilmiştir. 2022 yılında yapılan [53] referanslı çalışmada IMDB sitesinden elde edilen olumlu ve olumsuz olarak işaretlenmiş veriler kullanılmıştır. NB, SVM, RF, MLP algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk MLP algoritması ile %88 olarak elde edilmiştir. 2022 yılında yapılan [54] referanslı çalışmada FoodPanda isimli web sitesinden Bangla dilinde elde edilen veriler kullanılmıştır. MNB, DT, LR, RF, Linear SVM algoritmaları kullanılmıştır. Terim ağırlıklandırma için sayma vektörü ve TF-IDF yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada derin öğrenme için RNN, LSTM, Kapılı tekrarlayan birim (Gated Recurrent Unit-GRU) algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk oranı TF-IDF yöntemi ve LR algoritması ile %75 olarak elde edilmiş iken derin öğrenme yöntemlerinden Word2Sec yöntemi ve LSTM kullanılarak %90 olarak elde edilmiştir.

Makine öğrenmesi yaklaşımı kullanılarak geçmişten günümüze doğru incelenen çalışmalarda kullanılan veri seti, duygu analizi yapılan metnin dili, veri ön işlemede kullanılan

yöntemler, makine öğrenmesi yaklaşımında kullanılan algoritmalar gibi farklı kriterler ile elde edilen başarı oranları arasında nasıl bir bağlantının olduğu incelenmek istenmiştir. Bu sebeple farklı kriterler ve elde edilen sonuçlar kullanılarak oluşturulan tablolar ile bu kriterlerin sonuçlar üzerindeki etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Makine öğrenmesi yaklaşımı kullanılarak incelenmiş çalışmalarda kullanılan metnin dili, kullanılan veri seti, veriler üzerinde yapılan ön işlem adımları, kullanılan programlar ve çalışmalarda kullanılan makine öğrenmesi algoritmaların elde edilen başarıya olan etkisi incelenmek istenmiştir. Bu sebeple Tablo 2’ de makine öğrenmesi yaklaşımı kullanılarak yapılan duygu analizi çalışmalarındaki incelenen dil, veri seti, ön işlem adımları, kullanılan programlar ve ilgili çalışmalarda kullanılan algoritmalar ve çalışma sonucunda kullanılan algoritmalarından en başarılı algoritma ile elde edilen sonuçlar listelenerek belirtilen kriterler ile elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Tablo 2. Makine öğrenmesi yaklaşımında farklı kriterlerin karşılaştırılması.

Referans	Dil	Veri Seti	Ön İşlem Adımları	Kullanılan Program	Algoritmalar	Sonuçlar
[14]	Türkçe	Twitter: Pozitif, negatif ve nötr olarak etiketlenmiş 2 farklı veri seti	Kelime kökleri Karakter gramları TF IDF RF,F1,F2...	Weka	•SVM •DT •RF •IB1 •NB	En yüksek başarı SVM ile; •A veri kümesi ile %65, •B veri kümesinde %65,3 olarak elde edilmiştir.
[15]	Türkçe	Twitter: Pozitif, negatif ve nötr olarak etiketlenmiş dengeli (824 veri) dengesiz (2.000 veri) iki veri seti	N-Gram TF	Weka	•NB •DT •IB1 •SMO •RF	En yüksek doğruluk oranı, SMO ile; •Dengeli veri seti ile %72,33 iken •Dengesiz veri seti ile %66,40 olarak elde edilmiştir.
[16]	Türkçe	Twitter: Samsung, Apple LG markaları ile ilgili 500’er tweet	Yazım Düzeltici (Python)	Weka	•NB •DT •KNN •RF •Destek Vektör Makinesi (LibSVM)	En yüksek doğruluk NB ile; •Apple için %53,30, •Samsung için %56,53 ve •LG için %65,63 olarak elde edilmiştir.
[17]	Türkçe	Twitter: Türkçe mesajı	Vektör Uzay Modeli BoW N-gram TF TF-IDF Boolean, CfsSubset algoritması Vektör uzay modeli Binary, TF	Weka	•SVM •NB •MNB •KNN	En yüksek doğru sınıflandırma yüzdesi: N-gram yöntemi ve MNB ile %66 olarak elde edilmiştir.
[18]	Türkçe	Twitter: 14.777 adet mesaj	TF-IDF BoW, N-gram Korelasyon Tabanlı Öznitelik Seçme BoW		•NB •MNB •KNN •SVM •ME	En yüksek doğru sınıflandırma yüzdesi: •MNB ile %66 iken, •Konuya göre etiketleme işlemi yapıldıktan sonra %92,50 olarak elde edilmiştir.
[19]	Türkçe	Twitter: Telekomunikasyon ile ilgili 2.043 tweet	KKO Ki-kare Bilgi Kazanımı Sorgu Genişletme Sıralaması	Weka	• ME	En yüksek F-skoru: KKO öznitelik kullanılarak ME ile %78 olarak elde edilmiştir.
[20]	Türkçe	Twitter: Pozitif ve negatif dengeli 10.600 tweet	N-gram	Weka	•NB •LR •SVM	En yüksek doğru sınıflandırma: NB ve LR ile %77 olarak elde edilmiştir.
[21]	Türkçe	Twitter: 2.000.000 tweet	BoW TF-IDF	Python Ms Sql	• LR	En iyi AUC değeri: •Rastgele oluşturulan eğitim setlerine göre Sokağa Çıkma Yasağı ile ilgili olarak %82,

						•Kuralı eğitim gruplarına göre maske için %98 olarak elde edilmiştir.
[22]	Türkçe	Twitter: Pozitif ve negatif dengeli 32.000 tweet	TF-IDF	Python	• NB • KNN • SVM • LR • DT	En yüksek F-skoru: SVM ile %73 olarak elde edilmiştir.
[23]	Türkçe	E-ticaret sitesinden eğitim (9.100), Test (3.100) veri 3 farklı cep telefonu markasına ait pozitif ve negatif dengeli 1000 yorum	Word2vec		• RF	En yüksek doğruluk: RF ile %84,23 olarak elde edilmiştir.
[24]	Türkçe	Facebook sitesinden: 8770 yorum	Sayma Vektörü	Weka	•NB •KNN SVM	En yüksek doğruluk: •Pozitif tahminlemede SVM ile %74 •Negatif tahminlemede NB ile %83 olarak elde edilmiştir.
[25]	Türkçe	TREMO veri seti: 25.989 veri	Vektör uzay model Karşılıklı bilgi yöntemi TF-IDF		•ANN •RF •SVM •KNN •ANN •SMO •LR •XGBoost •DT •NB •KNN	En yüksek doğruluk: %82-%89 arasında bulunmuştur.
[26]	Türkçe	Kitap yorumu: 700 pozitif, 700 negatif yorumdan oluşan dengeli veri kümesi	TF-IDF	Phyton Rapid Miner	•MLP •NB •SVM •LR	En yüksek sınıflandırma başarısı: MLP ile %89 bulunmuştur.
[27]	Türkçe	Yemek Sepeti: olumlu ve olumsuz dengeli 676 bin veri	Word2vec	Python	•ANN •SV •KNN •NB •Doğrusal Regresyon	En yüksek doğruluk: ANN ile %86 olarak elde edilmiştir.
[28]	Türkçe Olmayan	Twitter: 443 tweet	Tokenizasyon	Python Rapid Miner	• NB • SVM • KNN	En yüksek doğruluk: NB ile %80,90 olarak elde edilmiştir.
[29]	Türkçe Olmayan	Twitter: Pozitif veya negatif olarak etiketlenmiş 162.000 tweet	TF-IDF	MYSQL Python	• NB •Doğrusal Ridge Regresyon	En yüksek F-skoru: Ridge Regresyonu ile %96,9 olarak elde edilmiştir.
[30]	Türkçe Olmayan	Twitter: 89.743 tweetten oluşan ve 14.641 tweetten oluşan ABD havayolu veri seti Sentiment.140'da n: eğitim (13.418), test (2.368) Kaggle'dan	TF-IDF		•NB •RF •SVM •DT •KNN	En yüksek doğruluk: •Twitter veri setinde SVM ile %83,67, •Havayolu veri setinde SVM ile %69 olarak elde edilmiştir.
[31]	Türkçe Olmayan	Twitter: ABD havayolu veri setinden eğitim için 10.248 test için 4.392 tane	N-gram TF-IDF	Python	•SVM •RF •K-Ortalama Kümeleme	En yüksek doğruluk: K-ortalama Kümeleme ile %74 bulunmuştur.
[32]	Türkçe Olmayan	Twitter: 1.600.000 sınıflandırılmış tweet	BoW		•ANN •DT •SVM	En yüksek doğruluk: ANN ile %75,99 olarak elde edilmiştir.
[33]	Türkçe Olmayan	Twitter: Google Samsung, Mi	N-gram		•SVM •NB •RF •DT	En yüksek doğruluk: SVM ile %79,90 olarak elde edilmiştir.
[34]	Türkçe Olmayan	Twitter: Apple ve diğer cep telefonlarla ilgili eğitim için 6.000 test için 2.000 tweet		Python	•NB •SVM •ME	En yüksek doğruluk: NB ile %86 olarak elde edilmiştir.
[35]	Türkçe Olmayan	Twitter: 1.000 tweet				

[37]	Türkçe Olmayan	Twitter: Haryana Meclisi anketleri ile 16000 tweet, The Sky is Pink, filmi ile ilgili yorumlar, UNGA, yaklaşık 5.000 tweet, Howdy Modi hakkında tweetler Kaggle'dan	Tokenization N-gram Kelime Bölütleme (POS)			•NB •SVM •RF •LSTM	En yüksek doğruluk: •Haryana Meclisi anketleri NB ile %96, •The Sky is Pink SVM ile %98,29, •UNGA NB ile %98, •Howdy Modi RF ile %98,24 olarak elde edilmiştir.
[38]	Türkçe Olmayan	Twitter: ABD Havayolu verilerinden 14.640 kayıt	BoW TF-IDF			•SVM •MNB •RF •LR	En yüksek doğruluk: SVM ve LR ile %77 olarak elde edilmiştir.
[39]	Türkçe Olmayan	Twitter: 4.035 tweet	Sayma Vektörü TF-IDF	NLTK		•LSTM •BernoulliNB •NB •SVM	En yüksek doğruluk: LSTM ile %79 olarak elde edilmiştir.
[40]	Türkçe Olmayan	Kaggle: Pozitif, negatif dengeli 1,6 milyon veri				•NB •Linear SVM •LR •SVM •KNN	En yüksek doğruluk: •DDVS ile %83,71 ve •LR ile %82,47 olarak elde edilmiştir.
[41]	Türkçe Olmayan	Twitter: Havayolu ile ilgili 1000 tweet		Python		•KNN+SVM •SMO+DT •SVM •SMO •DT	En yüksek doğruluk: SMO+DT ile %89,47 olarak elde edilmiştir.
[42]	Türkçe Olmayan	Internet Movie Database (IMDb) sitesindeki pozitif ve negatif eşit 2.000 film yorumu	Vektör Uzay Modeli Sayma Vektörü TF-IDF	Python Matlab		•NB •MLP •SVM •Merkez Tabanlı Sınıflayıcı	En yüksek doğruluk: •Eğitim veri setinde ANN ile %89,73 •Test veri seti için SVM ve ANN ile %75 olarak elde edilmiştir.
[43]	Türkçe Olmayan	UCI makine öğrenme havuzundan İngilizce için IMDB'deki 50.000 yorum,	Word2vec BoW N-gram TF TF-TDF		R	•LR •NB •DT •NB •LR •DT	En yüksek doğruluk: LR algoritması ile %79 olarak elde edilmiştir.
[44]	Türkçe/İngilizce	Türkçe için Beyazperde.com'dan 10.662 yorum		Python		•ANN •KNN •SVM	En yüksek doğruluk: •İngilizce film yorumları ANN ile %88,50 •Türkçe film yorumları LR ile %84,02 olarak elde edilmiştir.
[45]	Türkçe Olmayan	TripAdvisor: 337 veri		WebHarvy WEKA		•Text Blob •NB •BernoulliNB	En yüksek doğruluk: NB ile %72,06 olarak elde edilmiştir.
[46]	Türkçe Olmayan	Restoranlarla ilgili YELP veri seti	POS	Python		•NB •MNB •LR •Linear SVC	En yüksek doğruluk: NB ile %79,12 olarak elde edilmiştir.
[47]	Türkçe Olmayan	Arapça ve İngilizce dillerinde veri setleri	Vektör Uzay Modeli BoW TF-IDF	Python		•LR •Perceptron •MLP •BernoulliNB •DT •MNB •KNN	Doğruluk oranları: •RES veri setinde MLP ile %81 •ASTD veri setinde LR ile %68 •Stanford veri setinde LR ile %79 •Uber sveri setinde BernoulliNB ve KNN ile %84 •US havayolu veri setinde BernoulliNB ile %76 olarak elde edilmiştir.
[48]	Türkçe Olmayan	Tripadvisor.com: 708 otel yorumu	Vektör Oluşturma: TF	Python		•LR •KNN •SVM •NB •XGBoost •Gaussian NB •Çok Terimli Lojistik	En yüksek doğruluk: LR ile %92'lik olarak elde edilmiştir.
[49]	Türkçe Olmayan	Çevrimiçi materyallerle ilgili 6.059 geri bildirim	Üçlü likert yöntemi	Python		Regression •DT •MLP •SVM •KNN	En yüksek doğruluk: LR algoritması ile %77,5 olarak elde edilmiştir.
[50]	Türkçe Olmayan	Amazon İmdb Yelp Anonimden olumlu ve olumsuz dengeli 3.000 veri	TF-IDF	Python		•SVM •KNN •RF •NB •DT	En yüksek doğruluk: SVM ile, •Amazon veri seti ile %79, •İmdb veri seti ile %80, •Yelp veri seti ile %79, •Birleştirilmiş veri setiyle %85 olarak elde edilmiştir.

[51]	Türkçe Olmayan	Kaggle: 28.332 satır ürün yorumu	TF-IDF	Phyton	<ul style="list-style-type: none"> •NB •SVM •LR •DT •Doğrusal Regresyon 	En yüksek doğruluk: DT ile %94 olarak elde edilmiştir.
[52]	Türkçe Olmayan	Twitter: Apple IBM NIKE şirketleri ile ilgili tweetlerden			<ul style="list-style-type: none"> •RNN •SVM •LSTM •DT •NB 	En düşük hata oranı: LSTM algoritması ile 2.81 olarak elde edilmiştir.
[53]	Türkçe Olmayan	IMBD sitesinden elde edilen yorumlar	TF-IDF		<ul style="list-style-type: none"> •SVM •RF •MLP •RF •MNB 	En yüksek doğruluk: MLP ile %88 olarak elde edilmiştir.
[54]	Türkçe Olmayan	Web sitesinden elde edilen 520 pozitif 520 negatif yorum	Sayma Vektörü TF-IDF N-gram Derin öğrenme Kelime dizisi		<ul style="list-style-type: none"> •DT •LR •RNN •LSTM •GRU •Linear SVM 	En yüksek doğruluk: <ul style="list-style-type: none"> •Makine öğrenmesi LR ile %75, •Derin öğrenme LSTM ile %90 olarak elde edilmiştir.

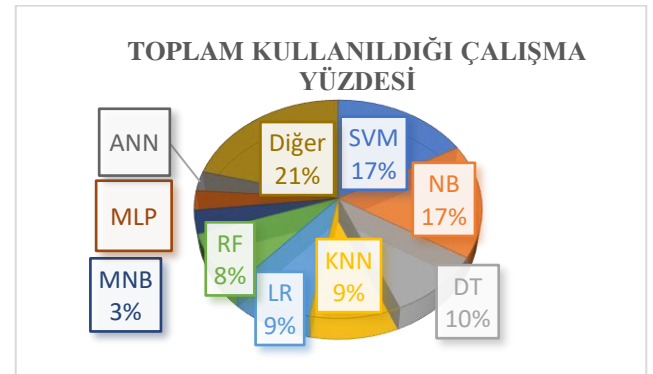
Makine öğrenmesi yaklaşımı kullanılarak incelenen 41 çalışmada kullanılan algoritmalar çoğunlukla aynı olmasına rağmen her çalışmada farklı sayıda algoritma kullanılarak toplamda 172 tane algoritmadan bahsedilmiştir. Tablo 3'te makine öğrenmesi yaklaşımında algoritmaların kullanıldığı çalışma sayıları gösterilmiştir.

Tablo 3. Makine öğrenmesi yaklaşımında algoritmaların kullanıldığı çalışma sayıları.

Kullanılan Algoritma	Toplam Kullanıldığı Çalışma Sayısı
IB1	2
ANN	5
BernoulliNB	3
MLP	5
Çok Terimli Lojistik Regresyon	1
Destek Vektör Makinesi (LibSVM)	1
Linear SVM	2
Doğrusal Regresyon	2
Linear SVC	1
XGBoost	2
Gaussian NB	1
GRU	1
DT	17
KNN	16
KNN+SVM	1
K-Ortalama Kümeleme	1
Doğrusal Ridge Regresyon	1
LR	15
ME	3
Merkez Tabanlı Sınıflayıcı	1
MNB	6
NB	29
RF	14
Regression	1
SMO	3
SVM	28
RNN	2
LSTM	4
Diğer	4

Tablo 3'teki veriler incelendiğinde sırasıyla en çok NB, SVM algoritmaların kullanıldığı gözlenmiştir. Bu algoritmalar incelendiğinde eğitici makine öğrenmesi algoritmaları oldukları gözlenmiştir. Ayrıca bu algoritmaların özellikleri incelendiklerinde metin türündeki veriler ile uyumlu çalıştığı ve yüksek başarı elde edildiği gözlenmiştir.

Bu sebeplerden metinler üzerinde makine öğrenmesi yaklaşımı ile duygu analizi sırasında NB ve SVM algoritmalarının sıklıkla tercih edildiği düşünülmektedir. Şekil 1'de makine öğrenmesi yaklaşımında kullanılan algoritmaların kullanıldığı çalışmalardaki oranları görülmektedir.



Şekil 1. Algoritmaların toplam kullanılma oranları.

4. Hibrit yaklaşımı

Metinler üzerinde yapılan duygu analizi çalışmaları detaylı olarak incelemeye devam edilirken bu kısımda hibrit yaklaşım kullanılarak yürütülen çalışmalar incelenmiştir. Hibrit yaklaşım kullanılarak 2013-2022 yılları arasında yapılmış toplam 14 çalışma (5'i Türkçe 9'u farklı diller) ele alınmıştır.

Hibrit yaklaşım kullanılarak yapılan duygu analizi çalışmalarında ilk olarak Twitter sosyal medya sitesinden elde edilen Türkçe metinler üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan veri kümeleri, sözlük yaklaşım için kullanılan sözlük, makine öğrenmesi yaklaşımı için kullanılan algoritmalar ve çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

2015 yılında yapılan [55] referanslı çalışmada film yorumlarından ve Twitter sosyal medya sitesinden elde edilen metinlerde duygu analizi yapılmıştır. Bu çalışmada sözlük tabanlı duygu analizi yöntemi ve makine öğrenmesi yaklaşımı yöntemleri ayrı ayrı uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sözlük tabanlı yöntem için

Türkçe'ye çevrilen Sentistrength sözlüğü kullanılmıştır. Makine öğrenmesi yaklaşımı için de SVM, NB, DT algoritmaları karşılaştırılmıştır. Twitter veri kümesi üzerinde her iki yöntem uygulanarak duygu analizi yapıldığında sözlük tabanlı yöntem kullanıldığında %75,2 iken makine öğrenmesi yaklaşımı yöntemi kullanıldığında SVM algoritması ile %85 başarı elde edilmiştir. Film yorumlarından elde edilen veri kümesinde ise sözlük tabanlı yöntem kullanıldığında %79,5 iken makine öğrenmesi yaklaşımı yöntemi kullanıldığında SVM algoritması ile %89 başarı elde edilmiştir. 2018 yılında yapılan [56] referanslı çalışmada 2018 seçimlerinde Cumhurbaşkanlığı adayı ve parti seçimi tahmini için Twitter verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada sözlük tabanlı yaklaşım için duygu skoru hesaplanmıştır ve makine öğrenmesi yaklaşımı için CART, RF ve NB algoritmaları kullanılmıştır. Cumhurbaşkanı adayları ile ilgili verilerin analizi sonucunda en yüksek duygu skoruna sahip aday Muharrem İnce ve duygu skoru %50 olarak elde edilmiştir. Makine öğrenmesi yaklaşımına göre en yüksek doğruluk Selahattin Demirtaş için RF algoritması ile %84 olarak bulunmuştur. Siyasal Partiler ile ilgili çalışma sonucunda en yüksek duygu skoru ortalaması %32 ile Ak parti iken makine öğrenmesi yaklaşımına göre en yüksek doğruluk HDP için RF algoritması ile %86 olarak elde edilmiştir. 2021 yılında yapılan [57] referanslı çalışmada kullanılan veriler Twitter üzerinden elde edilmiştir. Sözlük tabanlı ve Bert tabanlı makine öğrenmesi kullanılmıştır. Sözlük tabanlı duygu analizi için SentiTurkNet sözlüğü kullanılmıştır. Sözlük tabanlı makine öğrenmesi yaklaşımı modeli ile duyarlılık 1 olarak elde edilmiştir.

Hibrit yaklaşım ile hazır veri setleri veya farklı web sitelerinden elde edilen Türkçe metinler üzerinde yapılan duygu analizi çalışmaları aşağıda incelenmiştir.

2013 yılında yapılan [58] referanslı çalışmada duygu analizinde sözlük tabanlı yaklaşım ve makine öğrenmesi yaklaşımı kullanılarak elde edilen başarı oranları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan veriler BeyazPerde.com adlı internet sitesindeki film yorumlarından elde edilmiştir. Sözlük tabanlı yaklaşım için Türkçe'ye çevrilen SentiWordNet sözlüğü kullanılmıştır ve makine öğrenmesi yaklaşımı için SVM, NB, KNN, DT (C4.5) algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek F-skoru sözlük tabanlı yaklaşımla %59 ve makine öğrenmesi yaklaşımıyla SVM algoritması ile %82 olarak elde edilmiştir. 2019 yılında yapılan [59] referanslı çalışmada film yorumları ile ilgili veriler beyazperde.com sitesinden, otel yorumları ile ilgili veriler otelpuan.com sitesinden ve tweetlerden elde edilen 3 farklı veri seti kullanılmıştır. Bu çalışmada sözlük tabanlı yaklaşım için genişletilmiş SentiTurkNet sözlüğü kullanılmıştır ve makine öğrenmesi yaklaşımı için NB, SVM ve DT(J48) algoritmaları kullanılmıştır. Hibrit yaklaşım kullanılarak en yüksek doğruluk oranları film veri seti ile NB algoritması ile %88,93 otel veri seti ile SVM algoritması ile %91,96 ve Twitter verileri ile NB algoritması ile %83,37 olarak elde edilmiştir.

Hibrit yaklaşım kullanılarak diğer dillerde olan metinler üzerinde de duygu analizi çalışmaları yapılmıştır. Aşağıda incelenen çalışmalarda kullanılan veriler Twitter sosyal medya sitesinden veya farklı web sitelerden elde edilmiştir. Twitter verileri kullanılarak yapılmış duygu analizi çalışmalarından 2018 yılında yapılan [60] referanslı

çalışmada halka açık olan SemEval 2016 veri seti kullanılmıştır. Bu çalışmada duyarlılık puanları oluşturulmuştur ve SVM algoritması kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda SVM algoritması ile duygu puan vektörü dikkate alınmadan %79,6 olarak doğruluk elde edilirken duygu puan vektörü dikkate alınarak %81 doğruluk elde edilmiştir. 2019 yılında yapılan [61] referanslı çalışmada kullanılan veriler Yunanca tweetlerden elde edilmiştir. Bu çalışmada hazır sözlükler kullanılmıştır. RF, DT ve XGBoost algoritmaları karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda en yüksek doğruluk oranı RF algoritması ile %80 olarak elde edilmiştir. 2022 yılında yapılan [62] referanslı çalışmada sözlük tabanlı yaklaşım, makine öğrenmesi yaklaşımı ve hibrit yaklaşım uygulanarak çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada Twitter'daki verilerden oluşan 3 farklı hazır veri seti incelenmiştir. Sözlük tabanlı yaklaşım için SentiWordNet, TextBlob, VADER, SentiStrength, Hu ve Liu, MPQA, KWWSO sözlükleri karşılaştırılmıştır. Makine öğrenmesi için SVM, NB, LR algoritmaları karşılaştırılmıştır. En yüksek doğruluk oranları sözlük tabanlı yaklaşım ile birleştirilmiş veri seti kullanılarak VADER sözlüğü ile %57, makine öğrenmesi yaklaşımı kullanılarak LR algoritması ile %70,2 olarak elde edilmiştir. Hibrit yaklaşım sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında en yüksek F-skoru birleştirilmiş veri seti ile TextBlob ve LR algoritması kullanılarak %75,3 olarak elde edilmiştir.

Twitter dışında farklı yollardan elde edilen veriler kullanılarak hibrit yaklaşımla duygu analizi çalışmaları incelendiğinde 2018 yılında [63] referanslı çalışmada kullanılan veriler BookMyShow, IMDB, Rotten Tomatoes, Netflix gibi kaynaklardan manuel olarak elde edilmiştir. SentiWordNet sözlüğü ve makine öğrenmesi yaklaşımı için NB ve Linear SVM algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk NB algoritması ile %89 olarak elde edilmiştir. 2019 yılındaki [64] referanslı çalışmada LG G7 telefonunun kutudan çıkarılması videosunun yorumlarından elde edilen veriler kullanılmıştır. Sözlük tabanlı yaklaşım için VADER sözlüğü kullanılmıştır ve makine öğrenmesi yaklaşımı için NB algoritması kullanılmıştır. Bu çalışma sonunda doğruluk oranı %79,78 olarak elde edilmiştir. 2020 yılında yapılan [65] referanslı çalışmada veriler Jingdong platformundaki tablet bilgisayarın inceleme verilerinden elde edilmiştir. Manuel etiketli veri setine derin öğrenme modeli ve SVM algoritması uygulanmıştır. Çalışma sonunda en yüksek doğruluk oranı derin öğrenmeye dayalı duygu sınıflandırma yöntemiyle %87 olarak elde edilmiştir. 2020 yılında yapılmış bir diğer çalışma olan [66] referanslı çalışmada cep telefonu incelemeleri ile ilgili Amazon Kaggle veri seti kullanılmıştır. Sözlük tabanlı yöntem için VADER kullanılmış. LR, Hybrid Bag-Boost ve SVM algoritmaları karşılaştırılmış, en yüksek doğruluk Hybrid Bag-Boost algoritması ile %94 olarak elde edilmiştir. 2021 yılında yapılan [67] referanslı çalışmada restoran ile ilgili veriler Kaggle'dan elde edilmiştir. Sözlük tabanlı yaklaşım için VADER sözlüğü kullanılmıştır. LR, Destek Vektör Kümeleme (Support Vector Clustering-SVC), Linear SVC, MNB, XGBoost algoritmaları kullanılmıştır. En yüksek doğruluk XGBoost algoritması ile %67,5 olarak elde edilmiştir. 2022 yılında yapılan [68] referanslı çalışmada Sentiment.140 veri setinde bulunan 400.000 veri incelenmiştir. Sözlük tabanlı yaklaşım için Jaccard benzerlik

indeksi ve öznellik sözlüğü kullanılmıştır. KNN, Tamamlayıcı Naive Bayes (Complement Naive Bayes-CNB), RF, MLP ve SVM algoritmaları kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda sözlük tabanlı yaklaşım kullanılarak %59,5 doğruluk elde edilmiştir. Makine öğrenmesi yaklaşımı ile en yüksek doğruluk oranları eğitim verisi ile RF algoritması ile %98,8 ve test verisi ile SVM algoritması ile %76,7 olarak elde edilmiştir.

Hibrit yaklaşım kullanılarak incelenen çalışmalarda kullanılan veri seti, duygu analizi yapılan metnin dili, veri ön işleme kullanılan yöntemler, sözlük tabanlı yaklaşım için kullanılan sözlük, makine öğrenmesi yaklaşımında kullanılan algoritmalar gibi farklı kriterler ile elde edilen başarı oranları arasında nasıl bir bağlantının olduğu incelenmek istenmiştir.

Bu sebeple farklı kriterler ve elde edilen sonuçlar kullanılarak oluşturulan tablolar ile bu kriterlerin sonuçlar üzerindeki etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Hibrit yaklaşımı kullanılarak yapılan duygu analizi çalışmalarında incelenen metnin dilinin, veri setinin büyüklüğünün, elde edilen verilere uygulanan ön işlem adımlarının, kullanılan sözlüklerin ve kullanılan makine öğrenmesi algoritmaların elde edilen başarıya olan etkisi incelenmek istenmiştir. Bu sebeple Tablo 4'te hibrit yaklaşımında farklı kriterler ile elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Tablo 4. Hibrit yaklaşımında farklı kriterlerin karşılaştırılması.

Referans	Dil	Veri Seti	Ön İşleme Adımları	Kullanılan Sözlükler	Kullanılan Algoritmalar	Sonuçlar
[55]	Türkçe	Twitter: 4.324 tweet Beyazperde.com: 20.244 yorum	N-gram POS BoW	Sentistrength	SVM, NB, DT	En yüksek F-skoru: Sözlük Tabanlı Yöntem: Twitter için %75,2, yorumlar için %79,5 Makine Öğrenmesi: Twitter için %85 (SVM), yorumlar için %89 (SVM ve NB) En yüksek doğruluk:
[56]	Türkçe	Adaylar ile ilgili 95.478 tweet, partiler ile ilgili 134.878 tweet	Terim doküman matrisi oluşturulmuş.	Manuel duygu skoru hesaplanmış sözlük	CART, RF, NB	Duygu skorlarının aritmetik ortalaması: Adaylar: Muharrem İnce için %50 Partiler: Ak Parti %32 Makine Öğrenmesi: Adaylar: Selahattin Demirtaş için %84 (RF) Partiler: HDP %86 (RF) Sözlük tabanlı yaklaşım: Duyarlılık: 1
[57]	Türkçe	4.575 Twitter verisi		SentiTurkNet	Bert	Bert tabanlı makine öğrenmesi: Doğruluk %99
[58]	Türkçe	BeyazPerde.com: 2.305 yorum	N-gram TF-IDF, A-TF.	SentiWordNet	SVM, KNN, DT, NB	En yüksek F-skoru: Türkçe görüş sözlüğü: %59, Makine öğrenmesi: %82 (SVM)
[59]	Türkçe	Beyazperde.com, otelpuan.com'dan ve Kemik doğal dil işleme (NLP) sitesindeki veriler		Genişletilmiş SentiTurkNet	NB, SVM, DT(J48)	En yüksek doğruluk: Film yorumları için: %88,93 (NB) Otel yorumları için: %91,96 (SVM) Kemik NLP verileri için: %83,37 (NB)
[60]	Türkçe Olmayan	SemEval 2016 Twitter veri seti	N-gram TF, TF-IDF, Binary	Duyarlılık puanları belirlenmiş sözlük	SVM	En yüksek doğruluk: duygu puan vektörü ve SVM ile %81
[61]	Türkçe Olmayan	1.640 Yunanca tweet	N-gram	Yunanca sözlük	RF,DT, XGBoost	En yüksek doğruluk RF ile %80
[62]	Türkçe Olmayan	Weather Sentiment: 1.000 tweet DecarboNet: 600 tweet Kaggle: 396 tweet	BoW, TF-IDF	SentiWordNet, TextBlob,VADER, SentiStrength, Hu ve Liu, MPQA,WKWSC	SVM, NB, LR	En yüksek doğruluk: Birleştirilmiş veri seti : Sözlük tabanlı yaklaşım: VADER ile %57 Makine öğrenmesi: LR ile %70,2 Hibrit yaklaşım: TextBlob ve LR ile %75,3
[63]	Türkçe Olmayan	BookMyShow,IMDB Rotten Tomatoes, Netflix sitelerinden film yorumları	TF-IDF	SentiWordNet	NB, Linear SVM	En yüksek doğruluk NB ile %89
[64]	Türkçe Olmayan	Youtube'daki LG G7 cep telefonu ile ilgili 6.248 yorum	Sayma Vektörü	VADER	NB	En yüksek doğruluk %79,78
[65]	Türkçe Olmayan	Jingdongi: 14.831 yorum		Duygu sözlüğü	SVM, Evrişimli Sinir Ağları	En yüksek doğruluk: duygu sözlüğü ve Evrişimli Sinir Ağları ile %87
[66]	Türkçe Olmayan	Amazon'daki cep telefonları yorumları	N-gram	VADER	SVM, LR, Hybrid Bag-Boost	En yüksek doğruluk: Hybrid Bag-Booster ile %94

[67]	Türkçe Olmayan	Kaggle: 1.000 yorum	BoW, TF-IDF, Sayma Vektörü	VADER	LR, MNB, SVC, Linear SVC, XGBoost	En yüksek doğruluk: XG Boost ile %67,5
[68]	Türkçe Olmayan	Sentiment.140 veri setindeki 400.000 veri	Bow, Sayma Vektörü	Jaccard benzerlik indeksi ve Öznellik sözlüğü	KNN, CNB, RF, MLP, SVM	En yüksek doğruluk: Sözlük tabanlı yaklaşım: %59,5 eğitim verisi: RF ile %98,8 test verisi: SVM ile %76,7

Hibrit yaklaşımı kullanılarak incelenen 14 çalışmada kullanılan sınıflandırma algoritmalar çoğunlukla aynı olmasına rağmen her çalışmada farklı sayıda algoritma kullanılarak toplamda 39 tane algoritmadan bahsedilmiştir. Tablo 5'te hibrit yaklaşımda algoritmaların kullanıldığı çalışma sayıları gösterilmiştir.

Tablo 5. Hibrit yaklaşımda algoritmaların kullanıldığı çalışma sayıları

Kullanılan Algoritma	Toplam Kullanıldığı Çalışma Sayısı
Bert	1
CART	1
CNB	1
DT	4
Evrişimli Sinir Ağları	1
Hybrid Bag-Boost	1
KNN	2
Linear SVC	1
Linear SVM	1
LR	3
MLP	1
NB	7
RF	3
SVC	1
SVM	8
Topluluk Öğrenme (Ensemble Learning)	1
XGBoost	2

Tablo 5'teki veriler incelendiğinde sırasıyla en çok SVM, NB algoritmaların kullanıldığı gözlenmiştir. Bu algoritmalar incelendiğinde eğitici makine öğrenmesi algoritmaları oldukları gözlenmiştir. Ayrıca bu algoritmaların özellikleri incelendiklerinde metin türündeki veriler ile uyumlu çalıştığı ve yüksek başarı elde edildiği gözlenmiştir. Bu sebeplerden metinler üzerinde Hibrit yaklaşım ile duygu analizi sırasında NB ve SVM algoritmalarının sıklıkla tercih edildiği düşünülmektedir.

5. Sonuç

2013-2022 yılları arasında yapılan metin üzerinden duygu analizi elde edilmesine yönelik çeşitli çalışmalar incelenmiştir. Metin üzerinden duygu analizinin elde edilmesi işleminde sözlük tabanlı yaklaşım, makine öğrenmesi yaklaşımı ve hibrit yaklaşım olmak üzere 3 farklı yöntemin kullanıldığı gözlenmiştir. Duygu analizi işleminde kullanılan metinlerin Türkçe veya diğer dillerde olduğuna dikkat edilerek incelemeler yapılmıştır. Duygu analizi sırasında uygulanan her yöntemin özellikleri belirlenerek incelenen çalışmalar bu özellikler dikkate her çalışma uygulandığı yöntem dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Daha sonra ise yöntemler özelliklerine ve elde edilen sonuçlara göre karşılaştırılmıştır.

Sözlük tabanlı yaklaşım kullanılarak yapılan duygu analizi çalışmalarında kullanılan veri setlerinin elde edilen başarıya etkisi incelendiğinde, kullanılan veriler detaylı olarak incelendiğinde veri setindeki veri miktarları ile başarı oranları arasında bir bağlantı olduğu gözlenmemiştir. Metnin dilinin elde edilen sonuçlara etkisi incelendiğinde, Türkçe ve Türkçe olmayan metinlerde yapılan duygu analizi çalışmalarında elde edilen başarılar karşılaştırıldığında metnin dili ile elde edilen sonuçlar arasında bir bağlantı olduğu gözlenmemiştir. Sözlük tabanlı yaklaşım kullanılarak yapılan duygu analizi çalışmalarında kullanılan duygu sözlüğünün elde edilen başarıya etkisi incelenmiştir. Türkçe metinler için yeni Türkçe duygu sözlüğü oluşturularak yapılan duygu analizlerindeki başarı oranının diğer diller için oluşturulan duygu sözlüklerinin Türkçeye çevrilmesi ile yapılan duygu analizlerindeki başarı oranlarından yüksek olduğu gözlenmiştir. Ayrıca yeni Türkçe duygu sözlüğü kullanılarak yapılan duygu analizlerindeki sonuçların diğer dillerdeki metinler üzerinde yapılan duygu analizi sonuçlarından daha başarılı olduğu gözlenmiştir. Bu durum Türkçe dil yapısı incelenerek oluşturulacak daha kapsamlı duygu sözlüklerine ihtiyaç olduğunu göstermiştir.

Makine öğrenmesi yaklaşımı kullanılarak yapılan duygu analizi çalışmalarında farklı miktardaki veri setleri kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında veri miktarları ile elde edilen sonuçlar arasında bir bağlantı gözlenmemiştir. Metnin dilinin elde edilen başarıya etkisi incelendiğinde, metin dili Türkçe olan çalışmalarda başarı oranlarının diğer dillerde olan metinlerdeki başarı oranlarına göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Metin dili Türkçe olan çalışmalarda veri sayısının diğer dillerde olan çalışmalarda veri sayısına göre fazla olmasına rağmen elde edilen başarı oranının daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durum makine öğrenmesi yaklaşımı kullanılarak duygu analizi çalışmalarında incelenen dilin sonuçlar üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Makine öğrenmesi yaklaşımı kullanılarak incelenen çalışmalarda Türkçe metinlerde konu ile ilgili etiketleme veya kurallı eğitim verileri kullanılarak yapılan çalışmalarda başarı oranlarının daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Elde edilen verilere uygulanan ön işlem adımlarının ve kullanılan programların elde edilen başarıya olan etkisi incelendiğinde, birçok çalışmada ön işlem adımlarının benzer olduğu görülmektedir. Bu sebeple bu adımlar ile elde edilen başarı oranları arasındaki bağlantı hakkında tam bir yorum yapılamamasına rağmen birçok çalışmada bu adımların tercih edilmesinde elde edilen başarı üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Aynı şekilde bu çalışmalarda benzer programlar kullanıldığı gözlenmiştir. Makine öğrenmesi yaklaşımı kullanılarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde en başarılı sonuçların

SVM, NB, LR algoritmaları kullanılarak elde edildikleri gözlenmiştir. Ancak aynı çalışmada bütün algoritmalar uygulanmadığı için yine de net bir şekilde bu algoritmaların başarı oranının yüksek olduğunu söylenememektedir.

Hibrit yaklaşım kullanılarak duygu analizi yapılan çalışmalar incelendiğinde bazı çalışmalarda sözlük tabanlı yaklaşım ve makine öğrenmesi yaklaşımı ayrı ayrı uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılırken diğer çalışmalarda ise her iki yöntem birlikte uygulanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar farklı kriterlere göre karşılaştırılmıştır. İlk olarak farklı miktardaki veriler kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında veri miktarı ile elde edilen başarı oranları arasında bir bağlantı olduğu gözlenmemiştir. Hibrit yaklaşım olarak sözlük tabanlı yaklaşımın, makine öğrenmesi yaklaşımın ve her iki yöntemin birlikte uygulandığı çalışmalar incelendiğinde sözlük tabanlı yaklaşım ile elde edilen başarı oranlarının diğer iki yöntem ile elde edilen başarı oranlarından daha düşük olduğu gözlenmiştir. Makine öğrenmesi yaklaşımı kullanılarak elde edilen sonuçların sözlük tabanlı yaklaşım kullanılarak elde edilen sonuçlardan daha başarılı olmasına rağmen hibrit yaklaşım kullanılarak elde edilen sonuçlardan daha düşük olduğu gözlenmiştir. Duygu analizi yapılacak olan metnin dili incelendiğinde her iki yöntemin birlikte uygulandığı hibrit yaklaşım kullanılan çalışmalarda incelenen metnin dilinin elde edilen sonuçlar üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Çünkü Türkçe metinlerde ve diğer dillerdeki metinler üzerinde de hibrit yaklaşım kullanılarak elde edilen sonuçların yakın olduğu gözlenmiştir. Hibrit yaklaşım kullanılarak yapılan duygu analizi çalışmalarında makine öğrenmesi yaklaşımı uygulanırken kullanılan algoritmaların dağılımları incelendiğinde en başarılı sonuçların SVM, NB, RF algoritmaları kullanılarak elde edildikleri gözlenmiştir. Sözlük tabanlı, makine öğrenmesi ve hibrit yaklaşım kullanılarak yapılan duygu analizi çalışmaları incelendiğinde makine öğrenmesi yaklaşımı kullanılarak elde edilen sonuçların sözlük tabanlı yaklaşım kullanılarak elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu gözlenmiştir. Hibrit yaklaşım kullanılarak yapılan duygu analizi çalışmalarında ise diğer iki yaklaşıma göre daha yüksek doğruluk oranları elde edildiği gözlenmiştir. Literatür taraması sırasında hibrit yaklaşım kullanılarak özellikle Türkçe metinlerde olmakla birlikte diğer dillerdeki metinlerde de çok fazla çalışma bulunamamıştır. Bu sebeple hibrit yaklaşım ile ilgili daha iyi yorum yapılabilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynaklar

- [1] E. Sercan Akgül, C. Ertano ve B. Diri, "Twitter Verileri İle Duygu Analizi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 22, sayı. 2, ss. 106-110, 2016, DOI: 10.5505/pajes.2015.37268
- [2] G. Yurtalan, M. Koyuncu ve Ç. Turhan, "A. Polarity Calculation Approach For Lexicon-Based Turkish Sentiment Analysis", *Turkish Journal Of Electrical Engineering & Computer Sciences*, c. 27, sayı. 2, ss 1325-1339, 2019, DOI:10.3906/elk-1803-92
- [3] S. Yıldırım, Y. B. Salman ve S. Ayvaz, "Türkçe Duygu Kütüphanesi Geliştirme: Sosyal Medya Verileriyle Duygu Analizi Çalışması", *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, sayı.16, ss. 51-60, 2019, DOI: 10.31590/ejosat.537085
- [4] İ. N. Yoldaş, "Türkçe Metinlerde Duygu Analizi: Sözlük Tabanlı Yaklaşım Ve İnsanların Tepkilerinin Karşılaştırılması", *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama Ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi*, c. 2, sayı.1, ss1-6, 2021.
- [5] M. Önal, "Sözlüksel Benzeşim Yöntemi İle Android Tabanlı Duygu Analizi Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2017.
- [6] Ö. Demir, A. I. Baban Chawai ve B. Doğan, "Türkçe Metinlerde Sözlük Tabanlı Yaklaşım ile Duygu Analizi Ve Görselleştirme", *International Periodical Of Recent Technologies In Applied Engineering*, c.1, sayı. 2, ss. 58-66, 2019, DOI: 10.35333/porta.2019.98
- [7] E. Özdemir Akcan, "Marka İmajı Üzerine Türkçe Duygu Sözlüğü Geliştirme Çalışması", *Acta Infologica*, c. 5, sayı. 2, ss. 415-433, 2021, DOI: 10.26650/acin.908724
- [8] N. Öztürk ve S. Ayvaz, "Sentiment Analysis On Twitter: A Text Mining Approach To The Syrian Refugee Crisis", *Telematics And Informatics*, c. 35, sayı. 1, ss. 136-147, 2018.
- [9] A. John, A. John ve R. Sheik, "Context Deployed Sentiment Analysis Using Hybrid Lexicon", *In 1st International Conference On Innovations In Information And Communication Technology (ICIICT)*, Chennai, India, 25-26 Nisan, 2019.
- [10] N. Tuna, A. Sebatlı Sağlam ve F. Çavdur, "Covid-19 Salgını İle İlgili Paylaşımlar Üzerinde Veri Analizi", *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, c.15, sayı.1, ss. 13-23, 2022, DOI: 10.17671/gazibtd.928990.
- [11] E. Özdemir Akcan ve N. Sütütemiz, "Analysis of Brand Perceptions of Covid-19 Vaccines By Sentiment Analysis on Social Media", *Pamukkale University Journal of Social Sciences Institute*, sayı. 49, ss.145-162, 2022, DOI: 10.30794/pausbed.994700
- [12] Y. Ding, B. Li, Y. Zhao ve C. Cheng, "Scoring Tourist Attractions Based On Sentiment Lexicon", *In 2nd Advanced Information Technology, Electronic And Automation Control Conference (IAEAC)*, Chongqing, Çin, 25-26 Mart, 2017.
- [13] C.S. Khoo ve S. B. Johnkhan, "Lexicon-Based Sentiment Analysis: Comparative Evaluation Of Six Sentiment", *Journal Of Information Science*, c.44 sayı.4, ss. 491-511, 2018, DOI: 10.1177/0165551517703514
- [14] M. Çetin ve M. F. Amasyalı, "Eğitici ve Geleneksel Terim Ağırlıklandırma Yöntemleriyle Duygu Analizi", *In 21st Signal Processing and*

- Communications Applications Conference (SIU)*, Haspolat, Türkiye, 24-26 Nisan, 2013.
- [15] H. Nizam ve S.S. Akın, “Sosyal Medyada Makine Öğrenmesi İle Duygu Analizinde Dengeli Ve Dengesiz Veri Setlerinin Performanslarının Karşılaştırılması”, *XIX. Türkiye’de İnternet Konferansı*, Bornova, İzmir, Türkiye, 27-29 Kasım, 2014.
- [16] Nalçakan, Y. Bayramoğlu, Ş. S. Tuna, S. Sosyal Medya Verileri Üzerinde Yapay Öğrenme İle Duygu Analizi Çalışması. Technical Report, 2015.
- [17] Ö. Çoban, B. Özyet ve G. Tümüklü Özyer, “Türkçe Twitter Mesajlarının Duygu Analizi”, *In 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Malatya, Türkiye, 16-19 Mayıs, 2015.
- [18] Ö. Çoban, “Metin Sınıflandırma Teknikleri İle Türkçe Twitter Duygu Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2018.
- [19] T. Parlar, E. Sara., S.A. Özel, “Türkçe Twitter Verilerinde Duygu Analizi için Nitelik Seçim Yöntemlerinin Karşılaştırılması”, *In 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Antalya, Türkiye. 15-18 Mayıs, 2017.
- [20] O. Aytuğ, “Twitter mesajları üzerinde makine öğrenmesi yöntemlerine dayalı duygu analizi”, *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, c.3, sayı.2, ss. 1-14, 2017.
- [21] G. Sarıman ve E. Mutaş, “Covid-19 Sürecinde Twitter Mesajlarının Duygu Analizi”, *Euroasia Journal of Mathematics Engineering Natural and Medical Sciences*, c.7, sayı. 10, ss. 137-148, 2020, DOI: 10.38065/euroasiaorg.149
- [22] E. Kumaş, “Türkçe Twitter Verilerinden Duygu Analizi Yapılırken Sınıflandırıcıların Karşılaştırılması”, *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi*, c.2, sayı.2, ss. 1-5, 2021.
- [23] N. Pervan, H.Yalın Keleş, “Sentiment Analysis Using A Random Forest Classifier On Turkish Web Comments”, *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A2-A3 Physical Sciences and Engineering*, c. 59, sayı. 2, ss. 69-79, 2017, DOI:10.1501/commua1-2_0000000105
- [24] E. Karamanlı, “Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanarak, Metin Madenciliği Ve Duygu Analizi İle Müşteri Deneyiminin Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İşletme Anabilim Dalı, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [25] M. A. Toçoğlu, A. Çelikten ve A. Alpkoçak, “Türkçe metinlerde duygu analizi için farklı makine öğrenmesi yöntemlerinin karşılaştırılması”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 21, sayı. 63, ss. 719-725, 2019, DOI: 0.21205/deufmd.2019216303
- [26] Ö. Çelik ve A. Aslan, “Gender Prediction From Social Media Comments With Artificial Intelligence”, *Sakarya University Journal of Science*, c.23, sayı.6, ss.1256-1264, 2019, DOI: [10.16984/sofenbilder.559452](https://doi.org/10.16984/sofenbilder.559452)
- [27] S. Tuzcu, “Çevrimiçi Kullanıcı Yorumlarının Duygu Analizi İle Sınıflandırılması”, *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi*, c.1, sayı.2, ss.1-5, 2020.
- [28] Ö. Aktaş, B. Coskuner ve İ. Soner, “Turkish Sentiment Analysis Using Machine Learning Methods: Application on Online Food Order Site Reviews”, *Journal of Artificial Intelligence and Data Science*, c.1, sayı.1 ss.1-10, 2021.
- [29] M. Wongkar ve A. Angdresy, “Sentiment Analysis Using Naive Bayes Algorithm Of The Data Crawler: Twitter”, *In Fourth International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*, Semarang, Endonezya, 16-17 Ekim, 2019.
- [30] B. Ayan, B. Kuyumcu ve B. Ceylan, “Twitter Üzerindeki İslamofobik Twitlerin Duygu Analizi İle Tespiti”, *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, c.7, sayı. 2 , ss. 495-502, 2019, DOI: 10.29109/gujsc.561806
- [31] P.B. Sunitha, S. Joseph ve P.V. Akhil, “A study on the performance of supervised algorithms for classification in sentiment analysis”, *In IEEE Region 10 Conference (TENCO)*, Kochi, Hindistan, 17-20 Ekim, 2019.
- [32] S. Al-Hadhrami, N. Al-Fassam, H. Benhidour, “Sentiment Analysis Of English Tweets: A Comparative Study Of Supervised And Unsupervised Approaches”, . *In 2nd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS)*, Riyad, Suudi Arabistan, 1-3 Mayıs, 2019.
- [33] G.R. Kumar, K.V. Sheshanna, G.Anjan Babu, “Sentiment Analysis For Airline Tweets Utilizing Machine Learning Techniques”, *In International Conference on Mobile Computing and Sustainable Informatics EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*, Bölüm 75, ss. 791-799, Springer Nature Switzerland AG 2021.
- [34] K. Jayamalini, M. Ponnaivaikko ve J. Kothandan, “A Comparative Analysis Of Various Machine Learning Based Social Media Sentiment Analysis And Opinion Mining Approaches”, *Advances in Mathematics: Scientific Journal*, c.9, sayı.11, ss. 10195-10209, 2020, DOI: <https://doi.org/10.37418/amsj.9.12.1>
- [35] S.G. Kanakaraddi, A.K. Chikaraddi, K.C. Gull ve P.S.Hiremath, “Comparison Study Of Sentiment Analysis Of Tweets Using Various Machine Learning Algorithms”, *In International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, Coimbatore, Hindistan, 26-28 Şubat, 2020.
- [36] L. Madloi ve R. Patel, “Twitter Sentiments Analysis Using Machine Learning Methods”,

- International Conference for Emerging Technology (INCET), Belçika, Hindistan, 5-7 Haziran, 2020.*
- [37] S. Zahoor ve R. Rohilla, "Twitter Sentiment Analysis Using Machine Learning Algorithms: A Case Study", *In International Conference on Advances in Computing, Communication & Materials (ICACCM)*, Dehradun, Hindistan, 21-22 Ağustos, 2020.
- [38] T.H.K. Tusar ve T. Islam, "A Comparative Study Of Sentiment Analysis Using NLP And Different Machine Learning Techniques On US Airline Twitter Data", *In International Conference on Electronics, Communications and Information Technology (ICECIT)*, Dakka, Bangladeş, 14-16 Eylül, 2021.
- [39] M. Tripathi, "Sentiment Analysis of Nepali COVID19 Tweets Using NB SVM and LSTM". *Journal of Artificial Intelligence*, c. 3, sayı. 3, ss. 151-168, 2021, DOI: <https://doi.org/10.36548/jaicn.2021.3.001>
- [40] N. Yadav, O. Kudale, A. Rao, S. Gupta ve A. Shitole, "Twitter Sentiment Analysis Using Supervised Machine Learning". In *Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things*, Singapur, 2021, ss.631-642.
- [41] A. Naresh ve P.V. Krishna, An "Efficient Approach For Sentiment Analysis Using Machine Learning Algorithm", *Evolutionary Intelligence*, c.14, sayı.2, ss. 725-731. 2021, DOI: <https://doi.org/10.1007/s12065-020-00429-1>
- [42] O. Kaynar, Y. Görmez, M. Yıldız ve A. Albayrak, "Makine öğrenmesi yöntemleri ile Duygu Analiz", *In International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*, Malatya, Türkiye, 17-18 Eylül, 2016.
- [43] Y. M. Kızılkaya ve A. Oğuzlar, "Bazı Denetimli Öğrenme Algoritmalarının R Programlama Dili İle Kıyaslanması", *Karadeniz Uluslararası Bilimsel Dergi*, c.37, sayı. 37, ss. 90-98, 2018, DOI: 10.17498/kdeniz.405746.
- [44] A. Albayrak, "Duygu Analizinde Farklı Vektör Temsil Yöntemleri Ve Sınıflayıcıların Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye, 2018.
- [45] R. A. Laksono, K.R. Sungkono, R. Sarno ve C. S. Wahyuni, "Sentiment Analysis Of Restaurant Customer Reviews On Tripadvisor Using Naïve Bayes", *In 12th International Conference on Information & Communication Technology and System (ICTS)*, Surabaya, Endonezya, 18 Temmuz, 2019.
- [46] S. Hemalatha ve R. Ramathmika, "Sentiment Analysis Of Yelp Reviews By Machine Learning", *In International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS)*, Madurai, Hindistan, 15-17 Mayıs, 2019.
- [47] M. K. Elhadad, K.F. Li ve F. Gebali, "Sentiment Analysis of Arabic and English Tweets". *In Workshops of the International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, Cham, İsviçre, 2019, ss.334-348.
- [48] H. E. İnan, "Otel Yorumlarının Sınıflandırılmasında Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Karşılaştırılması ve Eskişehir Otellerine Yönelik Yorumların Duygu Analizi", *20. Ulusal ve 4. Uluslararası Turizm Kongresi*, Eskişehir, Türkiye, 16-19 Ekim, 2019.
- [49] U. Ö. Osmanoglu, O. N. Atak, K. Çağlar, H. Kayhan ve T.C. Can, "Sentiment Analysis For Distance Education Course Materials: A Machine Learning Approach", *Journal of Educational Technology and Online Learning*, c. 3, sayı.1, ss. 31-48, 2020, DOI: 10.31681/jetol.663733
- [50] E. Çelik, D. Dal ve T. Aydın, "Duygu Analizi İçin Veri Madenciliği Sınıflandırma Algoritmalarının Karşılaştırılması", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, sayı. 27, ss. 880-889, 2021, DOI: 10.31590/ejosat.905259.
- [51] Ö.F. Göçgün ve A. Onan, "Amazon Ürün Değerlendirmeleri Üzerinde Derin Öğrenme/Makine Öğrenmesi Tabanlı Duygu Analizi Yapılması", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, sayı. 24, ss. 445-448, 2021, DOI: 10.31590/ejosat.902674
- [52] B. Shaikh, A. Iyer, M. Koneti ve S. Iyengar, Stock Price Prediction with Sentimental Analysis, *In 4th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, Tirunelveli, Hindistan, 20-22 Ocak, 2022.
- [53] Y. Sikhi, S.A. Devi, S. K. Jasti ve M. S. Ram, "Sentimental Analysis Through Speech and Text for IMDB Dataset", *Proceedings of the Fourth International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, Tirunelveli, Hindistan, 20-22 Ocak, 2022.
- [54] M.I.H. Junaid, F. Hossain, U.S. Upal, A. Tameem, A. Kashim ve A. Fahmin, "Bangla Food Review Sentimental Analysis using Machine Learning", *In 12th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, Las Vegas, NV, ABD, 26-29 Ocak, 2022.
- [55] C. Türkmenoğlu, "Türkçe Metinlerde Duygu Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [56] Y. M. Kızılkaya, "Duygu Analizi Ve Sosyal Medya Alanında Uygulama" Doktora Tezi, İstatistik Anabilim Dalı, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2018.
- [57] E. Karaahmetoğlu, S. Ersöz, O. Karaahmetoğlu, "Sosyal Ağ Tabanlı Verilerden Faydalanarak Korona Virüs Konulu Duygu Analizi Çalışması", *Ergonomics*, c.4, sayı.1, ss. 47-54, 2021, DOI: 10.33439/ergonomi.824333

- [58] B.İ. Sevindi, “Türkçe Metinlerde Denetimli Ve Sözlük Tabanlı Duygu Analizi Yaklaşımlarının Karşılaştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [59] B. Erşahin, Ö. Aktaş, D. Kilinc ve M. Erşahin, “A hybrid sentiment analysis method for Turkish”, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, c. 27, sayı. 3, ss. 1780-1793, 2019, DOI: 10.3906/elk-1808-189
- [60] S. Naz, A. Sharan ve N. Malik, “Sentiment Classification On Twitter Data Using Support Vector Machine”, *In IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence (WI)*, Santiago, Şili, 3-6 Aralık, 2018.
- [61] D. Belevessis, C. Tjortjis, D. Psaradelis ve D. Nikoglou, “A Hybrid Method For Sentiment Analysis Of Election Related Tweets”, *In 4th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM)*. Pire, Yunanistan, 20-22 Eylül, 2019.
- [62] N. M. Sham ve A. Mohamed, “Climate Change Sentiment Analysis Using Lexicon, Machine Learning and Hybrid Approaches”, *Sustainability*, c.14, sayı.8, ss. 4723-4751, 2022, DOI: 10.3390/su14084723
- [63] R. Bandana, “Sentiment Analysis Of Movie Reviews Using Heterogeneous Features”, *In 2nd International Conference on Electronics, Materials Engineering & Nano-Technology (IEMENTech)*, Kalkuta, Hindistan, 4-5 Mayıs, 2018.
- [64] V. D. Chaithra, “Hybrid Approach: Naive Bayes And Sentiment VADER For Analyzing Sentiment Of Mobile Unboxing Video Comments”, *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, c.9, sayı.5, ss. 4452-4459, 2019, DOI: 1011591/IJECE.v9i5
- [65] M. Zhang, “E-Commerce Comment Sentiment Classification Based On Deep Learning”, *In IEEE 5th International Conference on Cloud Computing and Big Data Analytics (ICCCBDA)*, Çengdu, Çin, 10-13 Nisan, 2020.
- [66] S. K. Pathuri, N. Anbazhagan ve G. Prakash, “Feature Based Sentimental Analysis for Prediction of Mobile Reviews Using Hybrid Bag-Boost Algorithm”, *In 7th International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS)*, Chennai, Hindistan, 23-24 Temmuz, 2020.
- [67] K. Yadav ve M. Patel, “Sentiment Analysis on Restaurant Review using Hybrid Approach”, *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, c.9 sayı.5 ss. 1999-2006, 2021, DOI: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2021.34737>
- [68] D. Dankhara, “A Review of Sentiment Analysis of Tweets”, 2022, https://www.researchgate.net/publication/360076165_A_Review_of_Sentiment_Analysis_of_Tweets#fullTextFileContent



An application for the PID-based optimizer loop: Estimation of the annual production regression models of Malatya's apricot

Furkan Nur DENİZ

Inonu University, Electrical-Electronics Engineering Department, furkan.deniz@inonu.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-2524-7152

ARTICLE INFO

Article history:

Received 19 July 2022

Received in revised form 17 August 2022

Accepted 28 August 2022

Available online 30 September 2022

Keywords:

PID-based optimizer, nonlinear optimization, regression model, apricot, estimation

ABSTRACT

In this study, a data analysis application for the PID-based optimizer loop, which was previously proposed in a former study, is carried out. In this application, quadratic and cubic polynomial regression models were obtained for the estimation of annual apricot production by using the yearly total apricot production data of Malatya between 1991 and 2020. In addition, an average of these regression model estimations was calculated to increase estimation reliability. Annual apricot production amount was estimated by using the regression models obtained with the PID-based optimizer system between 2021-2025. The results were compared with the results obtained with the Matlab curve fitting toolbox.

Doi: 10.24012/dumf.1145295

Introduction

The use of Proportional-Integral-Derivation (PID) laws in control systems has played an important role after the idea of feedback became a great solution for control systems [1]. P, I, D actions in feedback can consider present, past and future control errors, respectively [1]. PID controller performs the minimization of the error signal in feedback control systems.

The use of PID laws in various nonlinear optimization problems have revealed a different and interesting application field besides their conventional use for the minimization of error signals in control systems. For example, it has been presented that the problems related to reaching the global minimum can be solved by providing better convergence speed by using PID actions in the conventional gradient descent algorithm [2]. In another study, a three term backpropagation algorithm was developed by adding a proportional action to the standard backpropagation algorithm, and it was shown to be successful in terms of convergence rate and local minimums for artificial neural networks training [3]. As a PID control system-like approach, stability analyses have been performed for the proposed three term backpropagation algorithm and stability conditions have also been presented [4]. Later, a problem was defined in terms of discrete-time PID actions for the training of neural networks and used for estimation error [5]. Also, apart from feedback control systems, PID actions were used in adaptive parameter settings for the neural networks [6]. There are some studies in the literature in which the PID plays a role in various optimization methods such as stochastic optimization [7]–[9].

In addition to these studies, an effective algorithm has been presented for solving nonlinear, unconstrained and multi-parameter optimization problems using a PID-based optimizer system [10]. The PID-based optimizer system is based on convergence of the error to zero using a slope-sensitive objective function in a closed-loop feedback system [10]. Thus, it has been shown that the consideration of the slope direction of the objective function increases the convergence speed and accuracy of the minimization process [10].

In the current study, second-order (quadratic) and third-order (cubic) polynomial regression models were obtained by using the PID-based optimizer system for the estimation of annual apricot production in Malatya. Average of the estimates of polynomial models was calculated to improve estimation consistency and reliability of these models. Annual apricot production estimates for the years 2021-2025 were calculated by using these polynomial regression models. The obtained results were compared with the 2nd and 3rd order regression models obtained using the Matlab curve fitting toolbox [11]. Previously, estimates of annual apricot production for Turkey were presented using various time series analyses in some previous studies [12], [13]. In this study, an application of the PID-based optimizer system [10] was demonstrated for the polynomial modelling of the annual apricot production data from Malatya region.

The primary aim of this study is to show employment of the PID-based optimizer system in data modelling application. It is observed that the results obtained for the 2nd order polynomial regression models are satisfactory when compared to the results obtained with the Matlab curve fitting toolbox.

However, the modelling results indicated that the performance of the PID-based optimizer in this modelling application depends on initial parameters of the PID system. Another point to be reminded here is that more real data are needed for more consistent time-dependent of the apricot production.

Brief Introduction of the PID-Based Optimizer System

In this section, the use of PID (Proportional-Integral-Derivative) controller as an optimizer in a closed-loop system is presented.

The PID-based optimizer system [10] works to solve unconstrained, multi-parameters and nonlinear optimization problem for $\forall u_1, u_2, u_3, \dots, u_p \in R$ and $F(u_1, u_2, u_3, \dots, u_p) \geq 0$ given as

$$\min F(u_1, u_2, u_3, \dots, u_p) \tag{1}$$

Figure 1 shows a block diagram of PID-based optimizer system. The PID controller promises to reduce the error signal in the closed-loop control system where r is the reference signal and q is the output signal [10].

The closed loop control system makes an effort to bring the error signal closer to zero by considering the error signal $e = r - q$. The PID controller is given by

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(t) dt + k_d \frac{de(t)}{dt} \tag{2}$$

where $u(t)$ is controller signal, and k_p, k_i and k_d are proportional, integral and derivative gains, respectively [14]. In feedback control systems, the error signal $e(t)$ goes to zero when the controller gains are adjusted to optimal values with various tuning methods. The PID-based optimizer configuration is slightly different from the closed-loop control system and is designed as shown in Figure 1 [10].

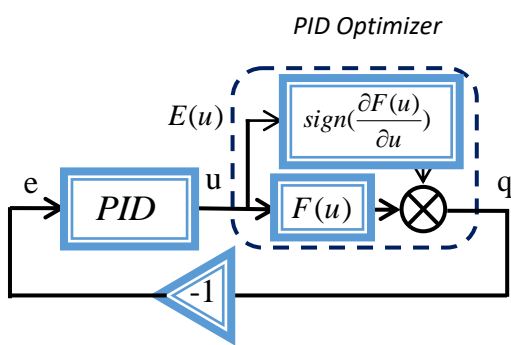


Figure 1. A block diagram of the proposed PID optimizer system [10].

In this configuration, the plant, which is controlled by the PID controller in a closed loop control system, is replaced by the function $E(u)$ which was called a slope sentient function model [10]. The function $E(u)$ is expressed as

$$E(u) = F(u) \text{sign}\left(\frac{\partial F(u)}{\partial u}\right) \tag{3}$$

where $F(u)$ is an objective function and it is used for optimization process [10]. The value of the sign function is 1 when the slope of the function is positive, and the value of the sign function is -1 when the slope of the function is negative. The value of the sign function is 0 when the objective function arrives at the global minimum points. In this way, the PID-based optimizer loop in Figure1 can achieve the convergence of the objective function's value to zero such that $\lim_{t \rightarrow \infty} F(u(t)) \rightarrow 0$.

To prove the limitation and convergence of the PID based optimizer system, the boundedness of PID optimizer dynamics and the strong convergence boundaries were explained in detail in [10]. To briefly mention here, the objective function is primarily considered as the Lyapunov energy function. Thus, it has been shown that if the value of the objective function decreases, the value of the derivative of the energy function is also negative. As a result, it has been proven in [10] that the PID optimizer-based system limits the value of the objective function.

In [10], it was proved by using the discrete final value theorem that the error function goes to zero ($\lim_{n \rightarrow \infty} e(n) \rightarrow 0$) for the discrete time PID based optimizer loop.

The PID controller to be used in a discrete-time optimizer loop can be restated as follows:

$$u(n) = k_p e(n) + k_i \sum_{i=0}^n e(i) T_s + k_d \frac{e(n) - e(n-1)}{T_s} \tag{4}$$

In Equation (4), T_s is unit time increment, and the discrete time parameter n is equal to t / T_s . The PID optimizer given in Figure 1 is generalized as in Figure 2 for multi-parameter optimization problems [10].

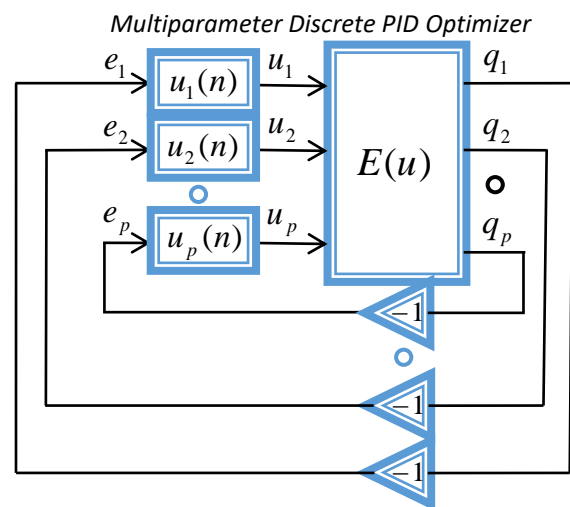


Figure 2. Multiparameter discrete PID optimizer system [10].

A flowchart in Figure 3 is demonstrated for the calculation steps which were explained in [10].

The flowchart can be summarized as follows: Firstly, initial values, PID parameters and maximum iteration numbers are determined. PID parameters are determined by trial-and-error method. Then, the slope sentient function models are calculated, and the outputs of all loops are obtained. The error functions are calculated by multiplying -1 with the outputs over the feedback. Then, the outputs of the discrete time PID optimizer are calculated by using (4) for all loops. If the stopping conditions are satisfied, the algorithm ends, otherwise it returns to the calculation of slope sensitive function models.

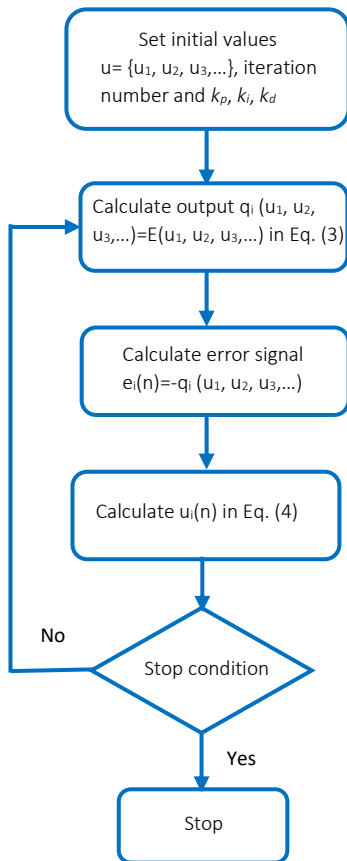


Figure 3. Flowchart of the PID-based optimizer system.

Estimation of the Annual Production Regression Models of Malatya’s Apricot

In this section, polynomial models for estimation of Malatya region apricot production are obtained by using PID-based optimizer as nonlinear multi-parameter optimization.

To that end, annual apricot production data given in Table 1 are used. These data are taken from [15] for the years 1991-2004, from [16] for the years 2005-2009 and from [17] for the years 2010-2020. Using these real data given in Table 1, second order and third order polynomial regression models are obtained. Also, the robustness and reliability of the estimated data is improved by average of these polynomial models’ data. In addition, the results, which are obtained with the PID-optimizer system, are compared with the results obtained by using the Matlab curve fitting toolbox [11].

Table 1. Apricot production between 1991-2020.

Year	Production (x10 ³ tons)	Year	Production (x10 ³ tons)
1991	154	2006	243
1992	161	2007	268
1993	94	2008	363
1994	263	2009	340
1995	132	2010	221
1996	84	2011	410
1997	144	2012	510
1998	297	2013	412
1999	166	2014	39
2000	331	2015	336
2001	268	2016	381
2002	122	2017	673
2003	217	2018	401
2004	350	2019	392
2005	500	2020	352

Second-order Polynomial Regression Model

Second-order (quadratic) polynomial regression model is given by

$$y = ax^2 + bx + c \tag{5}$$

To calculate the coefficients of the second-order regression model, one can solve the following minimization problem [10] by using the years and production data in Table 1.

$$\min_{\{a,b,c\}} F(a,b,c) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx_i + c - y_i)^2 \tag{6}$$

where x_i is the year vector [1991,1992, ..., 2020] and y_i is the production vector [154, 161, ..., 352] listed in Table 1. In addition, the initial values of polynomial coefficients [a_0, b_0, c_0] are set to be [0,0,0]. According to initial configuration of PID optimizer, algorithm can converge to minimum in 100000 iterations and the value of objective function does not change significantly. Therefore, maximum iteration number is set to 100000. Since the values of the year vectors are large values to solve this numerical optimization, the years data are set to appropriate values by applying in the form of $x = x_i - \min(x_i)$. The PID parameters [k_p, k_i, k_d] are set to be [9e-17, 6e-9, 9e-17].

Calculating the slope sentient function $E(u)$ and the error signal for each iteration, the PID-based optimizer system works to reach the optimal coefficients of the quadratic regression model.

The following 2nd order polynomial model is obtained with the PID optimizer system considering $x = x_i - \min(x_i)$.

$$y = -0.1807x^2 + 15.5039x + 114.2005 \tag{7}$$

Then, the 2nd order polynomial model in Equation (8) is found with the Matlab curve fitting toolbox.

$$y = -0.1376x^2 + 14.16x + 121.4 \tag{8}$$

In Figure 4, 2nd order polynomial model curves, which are obtained by the PID optimizer system and the Matlab curve fitting toolbox, and the real data are presented comparatively. Also, this figure shows the estimated data for the years 2021-2025. The estimated data for 2nd order polynomial models are given in Table 2. To evaluate data modelling performance, the performance criteria RMSE and MAE are calculated and listed in Table 3. One can say that the PID optimizer-based system performs as well as Matlab curve fitting toolbox when Tables 2 and 3 are analysed.

Figure 5 indicates the residuals of 2nd order polynomial models obtained by the PID optimizer system and Matlab curve fitting toolbox. It can be concluded that the deviations of the PID optimizer system and the Matlab curve fitting toolbox are almost the same. Here, it can be stated that the PID optimizer system will be more successful by choosing more optimal values for the PID parameters $[k_p, k_i, k_d]$.

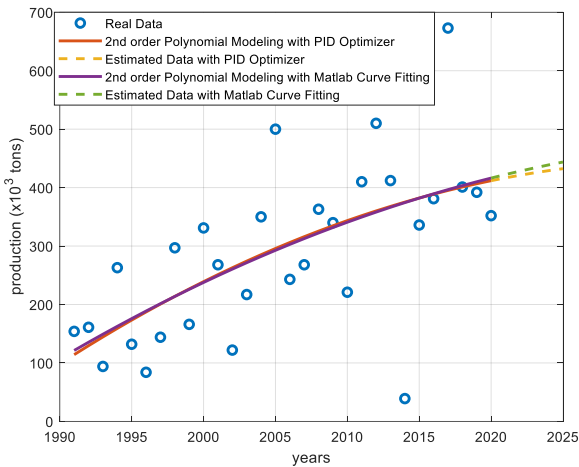


Figure 4. Comparisons of real data with 2nd order polynomial models obtained with PID Optimizer system and Matlab curve fitting toolbox.

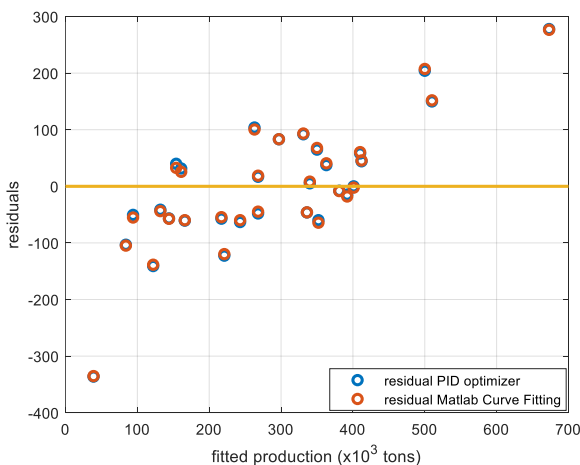


Figure 5. Plots of residuals for 2nd order polynomial models obtained with PID optimizer system and Matlab curve fitting toolbox.

Third-order Polynomial Regression Model

Third-order (cubic) polynomial regression model is given by

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d \tag{9}$$

To estimate the coefficients of the third-order regression model, the minimization problem can be expressed as:

$$\min_{(a,b,c,d)} F(a,b,c,d) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (ax_i^3 + bx_i^2 + cx_i + d - y_i)^2 \tag{10}$$

To solve this optimization problem by using the real data given in Table 1, the initial values $[a_0, b_0, c_0, d_0]$ are set to be $[0,0,0,0]$ and the maximum number of iterations is taken as 100000. The PID parameters $[k_p, k_i, k_d]$ are set to be $[1e-9, 9e-9, 20e-10]$.

As in the 2nd order polynomial model estimation, a bias value normalization in the form of $x = x_i - \min(x_i)$ is considered, since the year values are large for the optimization process. Using PID-based optimizer system, third order polynomial model is obtained as

$$y = -0.0052x^3 + 0.0061x^2 + 13.8659x + 93.5877 \tag{11}$$

Also, using Matlab curve fitting toolbox, the third order polynomial model is found as

$$y = -0.0103x^3 + 0.3117x^2 + 9.036x + 132.7 \tag{12}$$

Comparisons of the third order polynomial models given in Equations (11) and (12) and the estimated data for the years 2021-2025 are demonstrated in Figure 6. In addition, estimated apricot productions are given in Table 2. Considering evaluation of the regression models according to performance criteria in Table 3, the third order polynomial model obtained with the PID optimizer system is slightly different from Matlab curve fitting results.

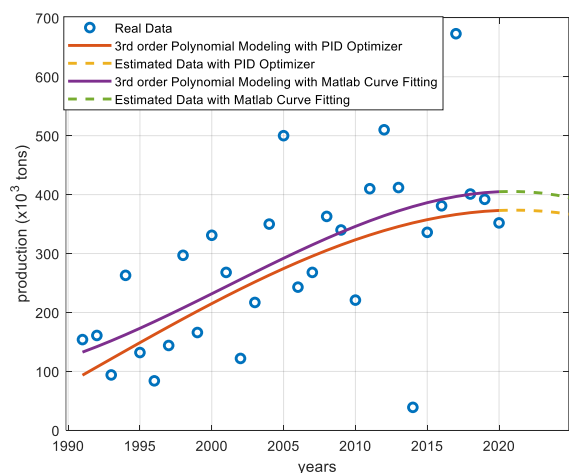


Figure 6. Comparisons of real data with 3rd order polynomial models obtained with PID Optimizer system and Matlab curve fitting toolbox.

The third order polynomial model obtained with Matlab curve fitting has lower RMSE and MAE values. Here, it is clear that

the PID parameters $[k_p, k_i, k_d]$ used for the PID optimizer system need better settings. Therefore, the hyper-parameter optimization of the PID-based optimizer was suggested as a future study [10].

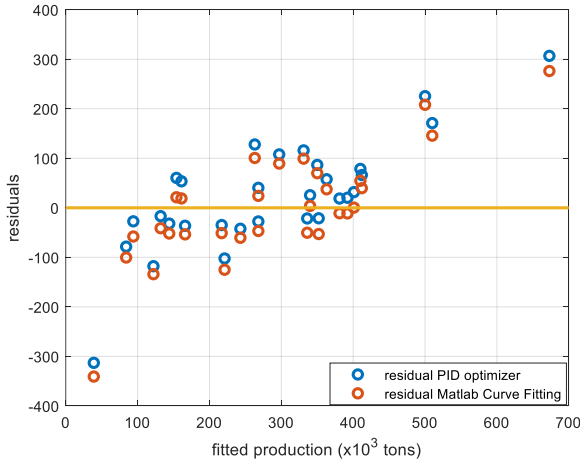


Figure 7. Plots of residuals for 3rd order polynomial models obtained with PID optimizer system and Matlab curve fitting toolbox.

Figure 7 shows the graphs of the residuals of 3rd order polynomial models obtained with the PID optimizer system and Matlab curve fitting toolbox. One can state that the deviations of the PID optimizer system for negative residual values are smaller than the deviations of the Matlab curve fitting toolbox.

Average of the Second-order and the Third-order polynomial models

In this subsection, we used ensemble averaging of the second and the third order polynomial models to improve consistency in the apricot production estimations. Taking average of several estimations from different models can decrease estimation errors when they are randomly distributed. The averaging estimates of models was also discussed for data modelling in [18].

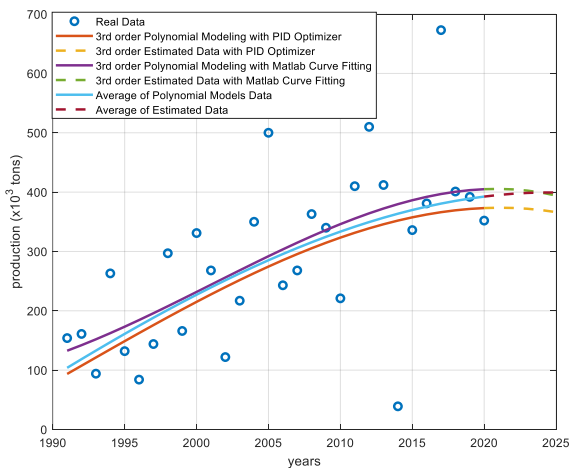


Figure 8. Comparisons of real data with 3rd order polynomial models obtained with PID optimizer system and Matlab curve fitting toolbox and average of polynomial models.

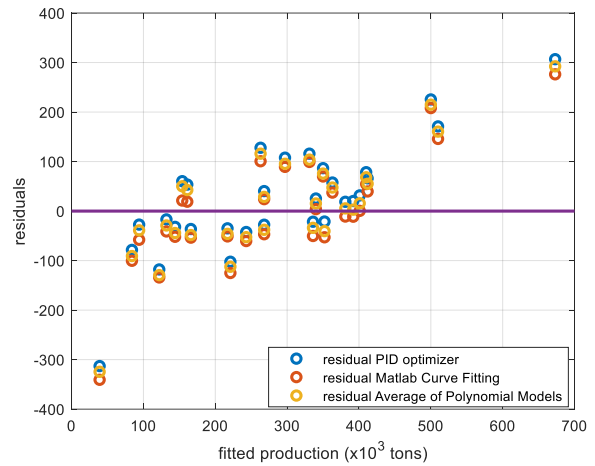


Figure 9. Plots of residuals for 3rd order polynomial models obtained with PID optimizer system and Matlab curve fitting and average of polynomial models.

Figure 8 shows results of the 3rd order models obtained with PID optimizer and Matlab curve fitting and the average of the second and the third order polynomial models. The average estimated data for the years 2021-2025 are demonstrated with dashed lines in the figure and listed in Table 2. RMSE and MAE values are given in Table 3. Considering the RMSE and the MAE values, it is observed that the average of the polynomial models is closer to the 3rd order polynomial model obtained with Matlab curve fitting and this indicates performance improvements of ensemble average models. Figure 8 clearly shows that averaging models from PID optimizers can be used to improve 3rd order estimation performance. The residuals of the 2nd and 3rd order polynomial models and average of these models are illustrated in Figure 9.

Table 2. Estimated Data of the Polynomial Models

Year	Production (x10 ³ tons)				
	2nd order curve fitting	2nd order PIDO	3rd order curve fitting	3rd order PIDO	Average of estimate PIDO
2021	422	417	405	374	395
2022	428	421	405	373	397
2023	434	425	403	372	399
2024	439	429	399	370	399
2025	444	432	394	366	399

Table 3. Evaluation of the Polynomial Models

	2nd order curve fitting	2nd order PIDO	3rd order curve fitting	3rd order PIDO	Average of estimate PIDO
RMSE	110.5	110.54	110.37	113.15	111.18
MAE	80.84	80.59	79.27	82.19	80.64

Conclusions

In this study, the PID-based optimizer system was used to estimate the annual production of Malatya's apricot. Second order and third order polynomial regression models were obtained with the PID-based optimizer system and compared with the polynomial models which are obtained with the Matlab curve fitting toolbox. Also, the average of the polynomial models obtained with PID-based optimizer are calculated. As a result, the second order polynomial regression model is as successful as the Matlab curve fitting toolbox's model. However, the third-order polynomial regression model needs to be improved. To improve the performance of the third order polynomial regression model, the PID parameters should be optimally chosen by considering each loop of the PID-based optimizer system. This issue can be addressed in a future study.

Ethics Committee Approval

There is no need to obtain permission from the ethics committee for the article prepared.

Conflict of Interest Statement

There is no conflict of interest with any person / institution in the article prepared.

References

- [1] K. J. Åström and T. Hägglund, "The future of PID control," *Control Eng. Pract.*, vol. 9, no. 11, pp. 1163–1175, Nov. 2001, doi: 10.1016/S0967-0661(01)00062-4.
- [2] R. Vitthal, P. Sunthar, and C. H. D. Rao, "The Generalized Proportional-Integral-Derivative (PID) Gradient Descent Back Propagation Algorithm," *Neural Networks*, vol. 8, no. 4, pp. 563–569, 1995.
- [3] Y. H. Zweiri, J. F. Whidborne, and L. D. Seneviratne, "A three-term backpropagation algorithm," *Neurocomputing*, vol. 50, pp. 305–318, 2003.
- [4] Y. H. Zweiri, L. D. Seneviratne, and K. Althoefer, "Stability analysis of a three-term backpropagation algorithm," *Neural Networks*, vol. 18, pp. 1341–1347, 2005, doi: 10.1016/j.neunet.2005.04.007.
- [5] X. Jing and L. Cheng, "An Optimal PID Control Algorithm for Training Feedforward Neural Networks," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 6, pp. 2273–2283, 2013.
- [6] G. Zeng, X. Xie, M. Chen, and J. Weng, "Adaptive population extremal optimization-based PID neural network for multivariable nonlinear control systems," *Swarm Evol. Comput.*, vol. 44, pp. 320–334, 2019, doi: 10.1016/j.swevo.2018.04.008.
- [7] J. Li, Y. Yuan, T. Ruan, J. Chen, and X. Luo, "A proportional-integral-derivative-incorporated stochastic gradient descent-based latent factor analysis model," *Neurocomputing*, vol. 427, pp. 29–39, 2021, doi: 10.1016/j.neucom.2020.11.029.
- [8] H. Wang, Y. Luo, W. An, and Q. Sun, "PID Controller-Based Stochastic Optimization Acceleration for Deep Neural Networks," *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.*, vol. 31, no. 12, pp. 5079–5091, 2020.
- [9] D. Wang, M. Ji, Y. Wang, H. Wang, and L. Fang, "Spi-Optimizer: An Integral-Separated PI Controller For Stochastic Optimization," in *2019 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2019, no. 61722209, pp. 2129–2133.
- [10] B. B. Alagoz, F. N. Deniz, and M. Koseoglu, "An efficient PID-based optimizer loop and its application in De Jong's functions minimization and quadratic regression problems," *Syst. Control Lett.*, vol. 159, p. 105090, 2022, doi: 10.1016/j.sysconle.2021.105090.
- [11] "MATLAB Release 2020b, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States." 2020.
- [12] B. K. Topuz, M. Bozoğlu, U. Başer, and N. A. Eroğlu, "Forecasting of Apricot Production of Turkey by Using Box-Jenkins Method," *Turkish J. Forecast.*, vol. 02, no. 2, pp. 20–26, 2018.
- [13] A. S. Uzundumlu, T. Karabacak, and A. Ali, "Apricot production forecast of the leading countries in the period of 2018-2025," *Emirates J. Food Agric.*, vol. 33, no. 8, pp. 682–690, 2021, doi: 10.9755/ejfa.2021.v33.i8.2744.
- [14] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, Prentice H. 2002.
- [15] K. Çatı and S. Yıldız, "Türkiye'de Kuru Kayısı Üretim Ve Pazarlama Problemleri Ve Çözüm Önerileri," *İktisadi ve İdari Bilim. Derg.*, vol. 21, no. 1, 2007.
- [16] Fırat Kalkınma Ajansı, "Kayısı araştırma raporu," 2010.
- [17] Tarımsal Ekonomi Ve Politika Geliştirme Enstitüsü TEPGE, "Ürün Raporu-Kayısı," 2021.
- [18] D. Ari and B. B. Alagoz, "Modeling Daily Financial Market Data by Using Tree-Based Genetic Programming," in *2021 International Conference on Information Technology (ICIT)*, 2021, pp. 382–386.

Hibrit yenilenebilir enerji sistem tasarımı: Balıkesir örneği^a*Hybrid renewable energy system design: The case of Balıkesir*Ipek Atik^{1*}, Aysenur SEKİN²^{1*}Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, ipek.atik@gibtu.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9761-1347>²Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, aysenursekin23@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2932-6384>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 25 Temmuz 2022
Revizyon 22 Ağustos 2022
Kabul 31 Ağustos 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

Yenilenebilir Enerji,
Hibrit Enerji Sistemleri,
Rüzgâr Enerjisi,
Güneş Enerjisi
Pvsol,
Balıkesir.

ÖZ

Günümüzde enerjiye olan ihtiyaç teknolojik gelişmeler, nüfus artışı, sanayileşme ve küreselleşme gibi nedenlerden dolayı artış göstermektedir. Fosil kaynakların yetersiz oluşu ve tükenebilir olması yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını ve önemini artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla faydalanmak için hibrit sistemler geliştirilmiştir. Hibrit sistemler birden fazla kaynağın verimli şekilde kullanıldığı sistemlerdir. Türkiye’de rüzgâr ve güneş enerjisi bakımından yeterli potansiyele sahip birçok alan mevcuttur. Bu çalışmada PVSol programı kullanılarak Balıkesir İli için hibrit sistem tasarımı yapılmıştır. Hibrit sistemlerin kurulu güç kapasitesi 7-50 KW arasında değişen 10 farklı senaryo için tasarım yapılmıştır. Çalışmalarda kurulu güç kapasitesi 7-15 KW arası 5 senaryo şebekeden bağımsız, 20-50 KW arası 5 senaryo şebekeye bağlı olarak tasarlanmıştır. Şebekeden bağımsız sistemlerde kurulu güce ve üretilen enerjiye bağlı olarak akümülatör ile üretilen enerjiyi depolamak için şarj regülatörü seçimleri yapılmıştır. Çalışma temiz ve güvenilir enerji üretim sistemleri güneş ve rüzgâr enerjisini hibrit olarak kullanması yönüyle diğer yenilenebilir enerji sistemlerinden üstünlük göstermektedir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 July 2022
Received in revised form 22 August 2022
Accepted 31 August 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Renewable energy,
Hybrid Energy Systems,
Wind Energy,
Solar Energy,
PvSol,
Balıkesir

Doi: 10.24012/dumf.1148223

* Sorumlu Yazar

ABSTRACT

Today, the need for energy is increasing due to reasons such as technological developments, population growth, industrialization, and globalization. The inadequacy and exhaustion of fossil resources increases the use and importance of renewable energy resources. Hybrid systems have been developed to benefit more from renewable energy sources. Hybrid systems are systems where more than one source is used efficiently. There are many areas with sufficient potential in terms of wind and solar energy in Turkey. In this study, a hybrid system was designed for Balıkesir Province by using the PVSol program. Efficiency analysis has been made for 10 different scenarios with the installed power capacity of hybrid systems varying between 7-50 Kw. In the studies, 5 scenarios between 7-15 KW were designed independent from the grid, and 5 scenarios between 20-50 KW were designed as connected to the grid. Depending on the installed power and the energy produced in off-grid systems, charge controller selections have been made to store the energy produced by the accumulator. The study shows superiority over other renewable energy systems in that clean and reliable energy production systems use solar and wind energy as hybrids.

^aBu çalışma yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

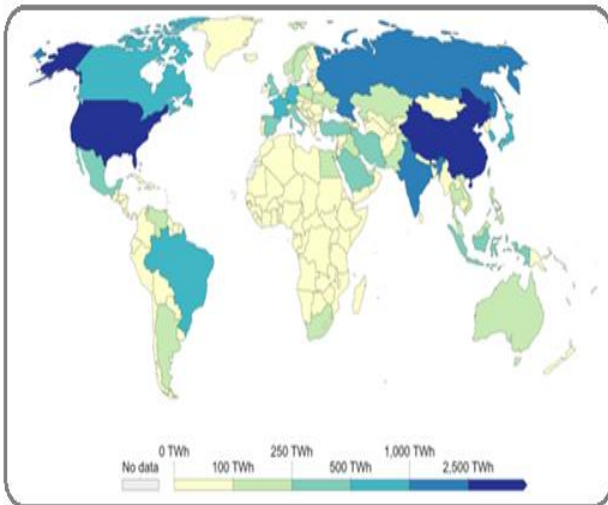
Giriş

Enerjinin doğada bulunan dönüşüm geçirmemiş hali birincil enerji, birincil enerjilerin dönüşüm geçirmesi sonucu elde edilen kaynaklar ikincil enerji olarak sınıflandırılır. Bir farklı sınıflandırma da enerji türleri kullanım sonunda aynı kalıyorsa yenilenebilir enerji kaynağı, kullanım sonunda kendini yenilemeyen kaynaklar ise yenilenemez enerji kaynakları olarak ifade edilir. Güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrolik, biyokütle gibi kaynaklar yenilenebilir enerji kaynaklarına, kömür, petrol, doğalgaz gibi kaynaklar yenilenemez enerji kaynaklarına örnek gösterilebilir [1], [2].

Geçmişten günümüze dünyadaki en önemli sorunlardan biri enerjidir. Dünya nüfusunun 2040 yılında yaklaşık 9 milyar olması beklenmektedir. Artan nüfus ve teknolojik gelişmeler daha fazla enerji ihtiyacını gerektirmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın raporuna göre dünya birincil enerji talebi şuanda 14 milyon ton eşdeğer petrol (TEP) iken, gelecek 20 yıl içinde %45 oranında bir artış ile 20.3 Milyar TEP seviyelerine ulaşacağı belirtilmektedir [3], [4].

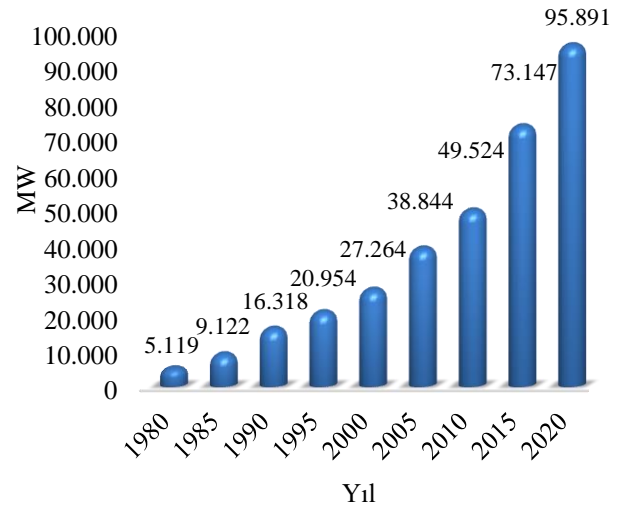
Dünyada fosil kaynaklı enerji kaynaklarının tükenebilir olması, doğaya zarar vermesi, küresel ısınma gibi sebeplerden dolayı yeni kaynak arayışları başlamıştır. Özellikle gelişmekte olan ülkeler dışa olan bağımlılığını azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları fosil kaynaklarla karşılaştırıldığında çevre dostu olması, tükenmemesi gibi sebepler ile cazip hale gelmiştir [5]. İstatistiksel veriler incelendiğinde son elli yılda yenilenebilir enerji talebindeki yıllık ortalama artış diğer kaynaklardaki artışa kıyasla yaklaşık beş kat fazladır [4].

Yapılan çalışmalara göre dünya genelinde gelecek 20-25 yıllık süreçte 68,2 trilyon \$'lık enerji yatırımı planlanmaktadır. Ülkelerin enerji ihtiyaç talepleri farklı oranlarda olsa da her geçen yıl enerjiye olan ihtiyaç artmaktadır. Şekil 1'de 2021 yılı için Dünya genelinde ülkeler ve elektrik enerji talebi (TWh) görülmektedir [6].



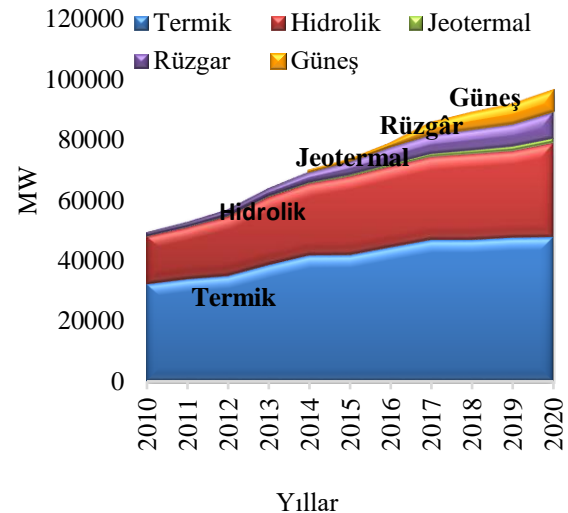
Şekil.1. Dünya'da elektrik enerji talebi 2021 (TWh) [6].

Şekil 1'den görüldüğü üzere Dünya genelinde en fazla enerji talebi olan ülkeler teknolojik anlamda da ileride olan Çin, Amerika gibi ülkeler olurken, enerji talebi en az olan ülkeler gelişmişlik seviyesi düşük olan Afrika gibi ülkelerdir [6]. Türkiye için kurulu güç değişimi de tüm dünyada olduğu gibi yıllara göre artış göstermiştir. Şekil 2'de Türkiye için kurulu güç değişimi 1980-2020 yılları arası değişimi verilmiştir.



Şekil 2. Türkiye için yılları arası kurulu güç değişimi (1980-2020) [7].

Şekil 2'den de görüldüğü gibi Türkiye kurulu gücü 1980, 2000 ve 2020 yıllarında sırasıyla yaklaşık 5119 MW, 27264 MW ve 95891 MW değerine ulaşmıştır. Buna göre elektrik kurulu gücü 1980 ile 2020 yılları arasındaki yaklaşık 19 kat artış göstermiştir. Türkiye 2010-2020 yılları arasında birincil enerji kaynaklarına göre kurulu güç değişimi Şekil 3 ve Tablo 1'de verildiği gibidir [7].



Şekil 3. Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi (2010-2020) [7].

Tablo 1. Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre veriler [7].

	T	H.	J.	R.	G.	T.E.
2010 (MW)	32278	15831	94	1320	0.0	49524
%	65.18	31.97	0.19	2.67	-	100.0
2020 (MW)	47794	30984	1613	8832	6667	95891
%	49.84	32.31	1.68	9.21	6.95	100.0

T: Termik, H: Hidrolik, J: Jeotermal, R: Rüzgâr, G.: Güneş, T. E: Toplam Enerji

Tablodaki verilerden de görüldüğü üzere örneğin 2010 yılında termik enerjinin kurulu güçteki oranı %65,18 iken 2020 yılında bu oran %49,84'e düşmüştür. Hidrolik enerjinin kurulu güçteki payı %31,97'den %32,31'e yükselmiştir. Aynı şekilde rüzgârın kurulu güçteki payı 2010 yılında %2,67 iken 2020 yılında bu oran %9,21'e yükselmiştir. Aynı şekilde güneş enerjisinin kurulu güçteki oranı 2020 yılında %6,95'e yükselmiştir [7].

İstatistiksel verilerden de görüldüğü üzere enerjiye olan talep ve ilgi yıllar geçtikçe artmakta ve enerjiyi verimli kullanma yönünde çalışmalar önem kazanmaktadır [8]. Son dönemlerde yenilenebilir enerji kaynaklarının faydalanılarak yapılan hibrit sistemler geliştirilmiştir [9]. Hibrit sistemler ile ilgili yapılan çalışmaların bir kısmı aşağıda açıklanmıştır.

Elhadidy ve Shaahid, Arabistan Dahran'da yılda 41500 KWh elektrik üretecek rüzgâr-güneş-dizel hibrit sistem tasarlamıştır. Hibrit sistem tasarımında gereken tüm ekipmanların sayısını ve hesaplamalarını yapmıştır [10]. Engin çalışmasında İzmir Güneş Enerjisi Enstitüsü binasının gece aydınlatması için gereken enerji ihtiyacını karşılayacak güneş ve rüzgâr hibrit sistem tasarımı yapmıştır [2]. Nelson ve Pasifik Kuzeybatı bölgesindeki ark., en düşük maliyetle tasarruf sağlayacak şekilde şebekeden bağımsız güç gereksinimleri için hücre-güneş/yakıt pili veya rüzgâr-güneş/pil dizisi sistemlerini incelemiştir. Çalışmalarında rüzgâr güneş pili sistemlerinin rüzgâr güneş yakıt hücresi ve elektroliz sistemlerine göre daha ekonomik olduğunu bulmuştur [11]. Marano ve arkadaşlarının çalışmasında, bir fotovoltaik enerji santrali ve bir rüzgâr santrali içeren enerji sisteminin maliyet analizi ve optimizasyonu, sıkıştırılmış havanın bir alan deposu enerjisi ile birleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sürecinde İtalya'daki Salerno Üniversitesi kampüsündeki elektrik yükü ve çevredeki yenilenebilir enerji dikkate alınmıştır [12]. İsmail ve ark. çalışmasında genetik algoritma yardımıyla hibrit sistemlerin analizi için Matlab tabanlı yazılım geliştirmiştir. Fotovoltaik panel, mikro türbin ve pil çeşitlerini ve panellerin eğim açısını dikkate alarak maliyet analizini minimize etmeyi amaçlamıştır. Bu çalışma için ek güç kaynağı olarak dizel jeneratör yerine mikro türbin kullanılmasının daha iyi olacağı tespit edilmiştir [13]. Sasidhar ve Jagadish Kumar,

sezgisel optimizasyon tekniğini kullanmış hibrit güç sistemi boyut optimizasyonu kullanılarak sistem maliyeti minimize edilmiştir. Toplam sistem maliyeti hesaplanırken işletme, bakım ve ilk yatırım maliyetleri dikkate alınmıştır. Tasarladıkları hibrit sistem, rüzgâr türbinleri, güneş panelleri ve pilleri içermektedir. Matlab yazılımı kullanılarak geliştirilen algoritmanın verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu teknik ile maliyetler düşürülmüştür [14]. Sangeetha ve Suja yaptıkları çalışmada, rüzgâr türbini, güneş panelleri ve bataryalardan oluşan karma enerji sistemi Simulink programı ve programda yapılan optimizasyon tahminleri Matlab programı kullanılarak modellenmiştir. Hibrit güç sisteminin boyutsal analizi sırasında, üretim maliyetinin ve güç kaynağının güvenilirliğinin yüksek olmasını sağlamak amaçlanmıştır. Bu çalışma için boyutsal analiz genetik algoritması ve çiçek tozlaşma algoritması kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Genetik algoritma ile iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır ancak çiçek tozlaşma algoritmasının kurulu gücüne karşılık gelen enerji maliyeti ve verimi dikkate alındığında algoritmadan çok daha iyi sonuç verdiği görülmüştür[15]. Demirtaş çalışmasında hibrit sistem tasarımı yapmıştır. Sistemde üretilen enerji akü gruplarında depolanabilmektedir. Ayrıca sistem şebeke bağlantılı olarak gerçekleştirilmiştir. Sistem verimlilik değerleri incelenmiştir [1]. Diaf ve arkadaşları, şebekeden bağımsız hibrit sistem tasarımı ve optimizasyon çalışması yapmıştır. Çalışma Fransa Korsika adaları bölgesinde gerçekleştirilmiştir [16]. Dong Chen ve arkadaşları çalışmasında rüzgâr-güneş hibrit sistemlerin oluşturulmasında proje aşamasını, faydalarını, maliyetini ve risklerini içeren bir çalışma yapmıştır [17].

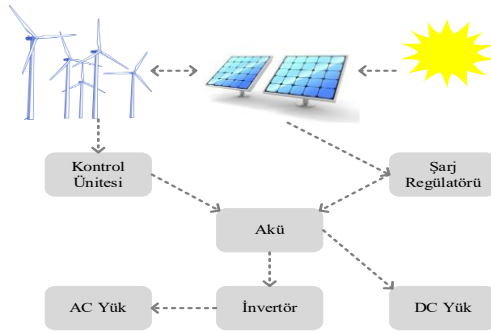
Bu Çalışmanın amacı ve katkıları;

- Bu çalışmada, Balıkesir İl'indeki rüzgâr ve güneş potansiyelinin yüksek olması nedeniyle rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinin birlikte kullanıldığı bir hibrit sistem tasarımı yapılmıştır.
- Enerji üretiminin tamamının yenilenebilir enerji kaynaklarından ve kesintisiz olması en önemli avantajlarındandır.
- Hibrit sistem tasarımında 10 farklı senaryo denenmiş ve en verimli olan sistemin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sistem tasarımları ayrı ayrı incelenmiştir.
- Çalışmanın gerçek değerlere yakın değerleri elde eden PvSOL programı ile analiz edilmiştir. Bu sayede hibrit sistem yatırımlarında yol gösterici olması amaçlanmıştır [5].

Çalışmada ikinci bölümde materyal ve metot kısmında hibrit sistemin çalışma yapısı, sistem bileşenleri ve ekipmanlar hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde tasarımı yapılan hibrit sistemlere ait senaryolar ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Dördüncü bölüm olan değerlendirme kısmında PvSol programından elde edilen analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Son bölüm olan beşinci bölümde çalışmanın sonuçları özetlenmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Materyal ve Metot

Birden fazla enerji kaynağından üretilen kaynaklar, hibrit enerji sistemleri olarak adlandırılır. Güneş – rüzgâr, güneş – rüzgâr – hidrojen, güneş-rüzgâr-hidroelektrik, güneş-hidrojen gibi farklı hibrit sistem tasarımları yapılabilir [16]. Güneş-rüzgâr hibrit sistemi ile elektrik ihtiyacı yılın on iki ayı yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak karşılanabilmektedir. Güneş ışınlarının çok parlak ve kuvvetli olduğu yaz aylarında rüzgâr hızları düşük iken, güneş enerjisinin az olduğu yaz aylarında rüzgâr hızları yüksektir. Rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinde verimli enerji elde etmek yıldan yıla ve gündün güne değişmektedir [18]. Başka bir ifadeyle rüzgâr hızının yetersiz olduğu günlerde güneş enerjisinden faydalanılabilir. Böylece bu sistemlerde enerji üretim devamlılığı sağlanır[11], [19]. Hibrit enerji sistemi rüzgâr ya da güneş enerjisinin çalışma sistemi ile aynı çalışmaktadır. Yalnızca sisteme ek yapılmalıdır [20]. Proje gereksinimlerine göre şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve şebeke destekli olarak tasarlanabilir. Çalışmada güneş-rüzgâr hibrit enerji tasarımı yapılmıştır. Güneş-rüzgâr hibrit güç sistemi diyagramı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Güneş-rüzgâr hibrit güç sistemi diyagramı.

Bu sistem güneş enerjisi veya rüzgâr türbinleri üretir. Rüzgâr türbini tarafından üretilen güç düzenleme sistemi sayesinde 24 veya 48 Volt DC 'ye çevrilebilir. DC gücü daha sonra şarj kontrol cihazından beslenir ve DC kesici pilin şarj olmasına izin verir, bu nedenle elektrik sisteminin DC kısmını ayırmak için bir yöntem gereklidir [21]. DC kısmı kesildiğinde pil, güç dönüştürücüyü etkinleştirir. Güç dönüştürücü, aküden DC sinyalini alır ve 110V AC güç üretir [22]. Fotovoltaik hücreler, düşük işletme maliyetleri ve yüksek güvenilirliğe sahiptirler. Güneş paneli, çeşitli boyutlarda üretilmekte ve satılmaktadır. Güneş panellerinde ilk yatırım maliyeti yüksektir [10]. Güneş pilleri, küçük ve orta ölçekli yükleri şebekeden uzakta çalıştırmak için ekonomik bir alternatif sağlar. Bir güneş pilinin ömrü kullanım ve yapım malzemesine bağlı olarak 10 ila 20 yıl arasında değişmektedir [23][24]. Güneş panelleri, seri bağlanmış birçok fotovoltaik hücreden oluşur. Plakaların kapasitesi test ortamında elde edilen güç değerlerine göre belirlenir. Güneş panelleri için genel olarak maksimum güç (Wp) değerinin 25 santigrat derece sıcaklık, 1 m/s rüzgâr hızı ve 1000 W/m² güneş ışınımı koşullarında elde edildiği kabul edilmiştir. Kontrol panelinden maksimum güç elde etmek için çalışma noktası doğru seçilmelidir [1]. Çünkü gün içindeki radyasyondaki değişiklikler veya yükteki olası değişiklikler nedeniyle

çalışma noktası farklıdır. PV paneller aküye doğrudan bağlı değildir, çünkü akünün uzun ömürlü olması için şarj kontrolörü kullanılması gerekir. Bu, özellikle aşırı yüklenmelerden ve deşarjlardan korumak için bir regülatör ile yapılmaktadır [25].

Proje Alanı

Bu çalışmada Balıkesir İl'inde güneş ve rüzgâr enerjisinden oluşan hibrit enerji sistemi tasarımı yapılacaktır. Balıkesir, batıdan Ege Denizi'ne ve kuzeyden Marmara Denizi'ne uzanan kıyıları bakımından Marmara bölgesinde önemli bir yere sahiptir. Ayvalık'ta 5 km, Burhaniye'de 12 km, Edremit'te 32 km ve Gömeç'te 17,5 km olmak üzere Ege Denizi'ne kıyı şeridi uzunluğu 115,5 km'dir. Marmara Denizi'nde kıyı şeridi Bandırma'da 60 km, Erdek'te 3,5 km, Gönen'de 8 km ve Marmara ilçesinde 72,5 km olmak üzere toplam 175 km'dir. Balıkesir, 1299 km² yüzölçümüne sahip olup, kuzeydoğuda Bursa, güneydoğuda Kütahya ve Manisa, güneybatıda İzmir, batıda Ege Denizi ve Çanakkale ile çevrilidir. 39° 0' kuzey enlemi ile 26°28' doğu boylamları arasında yer alır. İllerin sınırları hem Marmara hem de Ege bölgelerini kapsamaktadır [26].

Rüzgâr Santrali

Rüzgâr hızı verisi alındığında, iyi sonuçlar elde etmek ve daha verimli enerji üretmek için rüzgâr türbinleri ve ölçüm istasyonlarının düzenlenmesi gereklidir. Bir rüzgâr santralinin tasarımı ve maliyeti hesaplanırken öncelikle seçilen santral konumundan üretilen enerji miktarına göre üretilmesi gerekir [10]. Bu nedenle arazinin seçildiği alanın yapısının uygun olup olmadığı kontrol edilerek ölçümler yapılmalı ve ardından Rüzgâr İzleme İstasyonu (RGİ) kurulmalıdır. RGİ kurulum alanı rüzgâr yönünde olmalı ve rüzgârı etkileyecek hiçbir engelin olmadığı alanlarda seçilmelidir. Çünkü rüzgâr hızı, bozulma alanına bağlı olarak düşüş gösterebilir. Çalışmada Balıkesir'in Ayvalık ilçesinde kurulacak rüzgâr santrali 5 adet farklı özelliklere sahip rüzgâr türbini tercih edilmiştir. Tercih edilen rüzgâr türbinlerine ait nominal güç (w), kanat sayısı, rotor çapı, süpürülen alan (m²), ilk hareket hızı(m/sn), nominal hız ve dayanabileceği maksimum hız parametreleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Rüzgâr türbinleri ve özellikleri [27]-[31].

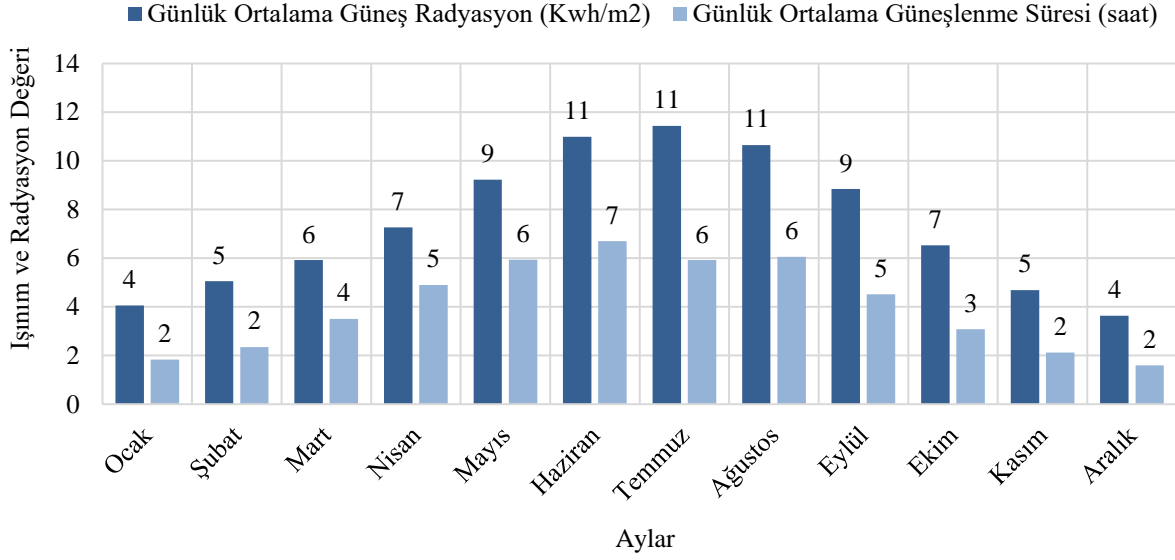
	Rüzgâr Türbini				
	P1	P2	P3	P4	P5
Nominal Güç (W)	5000	35000	1000	3000	1400
Kanat Sayısı	3	3	3	2	3
Rotor Çapı	5.4	19.2	2	4.5	3.12
Süpürülen alan(m²)	22.89	289.5	4.9	15.9	7.65
İlk hareket hızı(m/sn)	3	3.5	2.5	3.5	3
Nominal hız	12	11	11	10.5	16
Dayanabileceği mak. hız	60	52	54	55	40

P1: Iskra AT5-1, P2: Endurance G3120, P3: Bergey XL-1, P4: Whisper 500, P5: Proven WT

Güneş Santrali

Çalışmada kurulması planlanan güneş enerji santrali için en önemli parametre bölgenin aylara göre güneş radyasyon değeridir. Bölgeye ait aylık bazda günlük güneş radyasyon değeri ve güneşlenme süreleri Şekil 5'te görülmektedir [7]. Şekilden görüldüğü üzere aylık ortalama en yüksek radyasyon değeri 11,4 (saat) ile temmuz ayı iken en fazla güneşlenme süresi 6,7 saat olan haziran ayındadır. En düşük radyasyon ışınım değeri 1.6 (kW/m²) ile aralık ayında olurken en kısa güneşlenme süresi de 3.6 (kW/m²) ile yine

aralık ayındadır [7].Çalışmada kullanılacak güneş paneli monokristal güneş panelidir. Bu panelin üretiminde kristal silikon malzeme kullanılmıştır. Standart bir yapıya sahiptir ve belirgin pürüzsüz bir dokuya sahiptir. Piyasadaki en verimli güneş panellerinden biridir. Diğer eşit ölçüdeki polikristal hücrelere göre daha az yer kaplamaktadır. Maliyetleri yüksek olmakla beraber, panel seçiminde üretici kalitesi ve hücre menşei, panel tipi özellikleri verimi etkileyen önemli faktörlerdir. Bu çalışmada kullanılan güneş paneli modeli TT 40072 PM olup panel parametreleri Tablo 3'te verilmiştir [32].



Şekil 5. Balıkesir İli aylara göre günlük ortalama radyasyon ve güneşlenme süreleri [7].

Tablo 3. TT 40072 PM Güneş Paneli parametreleri [32].

Parametre	Birim	Değer
Maksimum Güç	W	400
Modül Verimliliği	WP	20,6
Maksimum Güç Gerilimi	Vmp	41,10
Maksimum Güç Akımı	Imp	9,75
Açık Devre Gerilimi	Voc	49,83
Kısa Devre Akımı	Isc	10,38

Hibrit sistemlerde güneş panellerini taşıması için panel sehpa kullanılır. Enerji sektöründeki birçok firma panel sehpa seçiminde çevresel koşullara karşı dayanıklılıkları, tasarrufları ve bakım gerektirmediğinden galvanizli çelik yapı raflarını tercih etmektedir. [33]. Çalışmada evirici olarak Revoe Plus 35 (3-5.5 kW geniş PV giriş aralığı 120-450 V DC), tercihe göre batarya ile bağlantılı solar inverter kullanılmıştır [34]. Hibrit çalışmalar için uygun olan invertöre ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir. Ayrıca çalışmada akü olarak Mutlu marka efb tam enerji akü kullanılmıştır. Akü özellikleri Tablo 4'de verilmiştir[35].

Tablo 4. Akü Teknik Özellikleri [35].

Kodu	Kapasite	CCA	K	U	G	Y
FL1.48.030.A	K20/K5 48/40	300	1	B3	207	175
FL2.60.036.A	K20/K5 60/50	360	1	B4	242	175
FL3.75.048.A	K20/K5 95/80	480	1	B5	278	175
FL5.95.064.A	K20/K5 48/43	640	1	B13	353	175
FHM.100.064.A	K20/K5 48/44	100	1	B3	323	176

CCA:Soğuk motor çalıştırma amperi, K:Kutuplar, U:Uzunluk (mm), G: Genişlik (mm), Y: Yükseklik (mm)

Şebeke Bağlantılı ve Şebekeden Bağımsız Sistemler

Şebekeye bağlı sistemde, üretilen elektrik aküde depolanmaz, şebekeye aktarılır. Üretilen bu enerji, merkezi şebekeye yüksek kapasitede bağlanabilen inverterler ile şehrin merkezi şebekesine de bağlanabilir [25]. Bu sistemin seçilmesindeki en önemli neden, kurulumunun kolay

olması ve gerekli depolama maliyetinin olmamasıdır. Dayanıklı, pratik ve taşınabilir özelliklere sahiptir. Üretilen enerji doğrudan şebekeye bağlı olduğundan, üretilen enerji yeterli olmadığında şebeke doğrudan devreye girer ve yüke enerji miktarı sağlanır. Sistem tasarımına tüm yükü dahil etme zorunluluğu olmadığı için istenilen miktar veya alana göre tasarım yapılabilir [22].

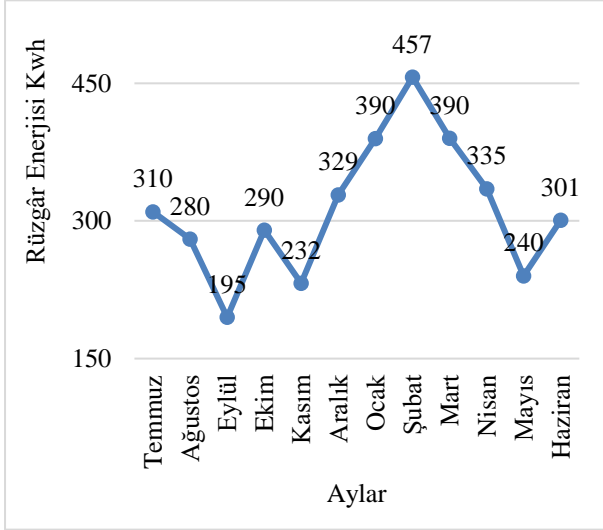
Şebekeden Bağımsız sistemler elektriğin olmadığı veya ulaşımın zor olduğu durumlarda, ana hattın sık sık kesilmesi durumunda sistemden gerekli enerjiyi sağlayan sistemdir. Şebekeden bağımsız çalıştığından, yıl boyunca yeterli enerji üretilmediği zamanlarda bile kurulumun ihtiyaçlarını karşılayacak yeterli pil kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır [36]. Sadece bir ilk yatırım maliyeti vardır. Çok verimlidir ve çok düşük güç kaybına sahiptir. Kolay montaj mevcuttur [37].

Bulgular

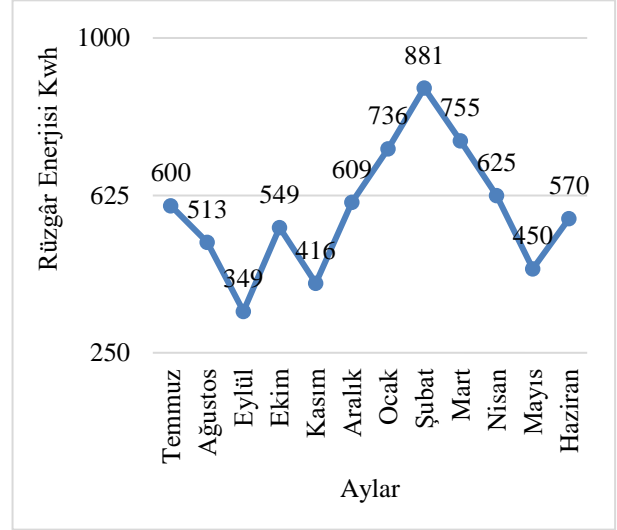
Bu çalışmada, Balıkesir Ayvalık'ta kurulan hibrit güç sistemi için kurulu gücü 5-50 kW arasında değişen 10 adet senaryo tasarımı yapılmıştır. Senaryolar oluşturulurken en önemli kriterlerden biri kurulu güneş ve rüzgâr enerjisi oranlarının birbirine yakın olmasıdır. Hibrit sistemlere ait rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu gücü, kullanılacak türbinler, güneş paneli tipi ve kullanılacak güneş paneli sayısı Tablo 5'te verilmiştir. Tasarımı yapılan sistemlerde ilk beş sistem şebekeden bağımsız, diğer beş sistem şebeke bağlantılı olarak tasarlanmıştır. Tasarımda kullanılan rüzgâr türbinlerinin Balıkesir İl'ine ait aylık rüzgâr enerjisi verileri Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Ayrıca bölgeye ait güneş ışınım değerleri Şekil 11'de gösterildiği gibidir.

Tablo 5. Tasarımı yapılan sistemlere ait kurulu güç(w), rüzgâr türbini çeşidi, rüzgâr türbini gücü(w), rüzgâr türbini adedi, güneş paneli modeli, güneş paneli adedi, güneş paneli gücü(w) ve bağlantı tipi verileri.

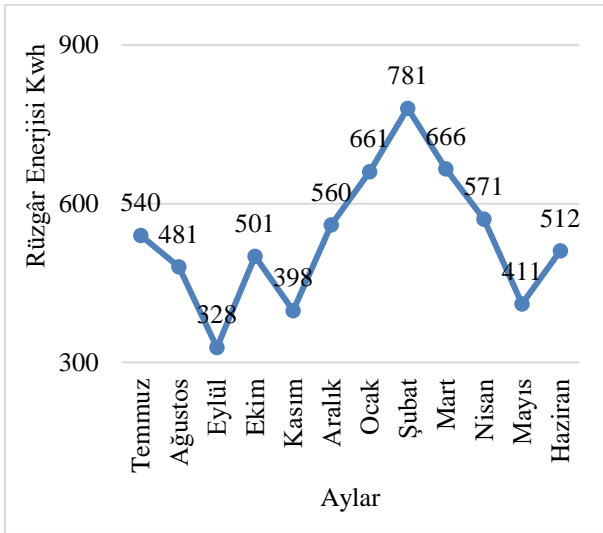
Senaryo No	Kurulu Güç(W)	Rüzgâr Türbini Çeşidi	Rüzgâr Türbini Gücü(W)	Rüzgâr Türbini Adedi	Güneş Paneli Modeli	Güneş Paneli Adedi	Güneş Paneli Gücü(W)	Bağlantı tipi
1	7000	Whisper-500	3000	1	TT40072 PM	20	200	Şebekeden bağımsız
2	8000	Whisper-500	2000	2	TT40072 PM	16	250	Şebekeden bağımsız
3	9000	Iskra AT5-1	3000	1	TT40072 PM	30	200	Şebekeden bağımsız
4	10.000	Iskra AT5-1	5000	1	TT40072 PM	50	100	Şebekeden bağımsız
5	15.000	Bergey XL.1	2500	2	TT40072 PM	40	250	Şebekeden bağımsız
6	20.000	Bergey XL.1	10.000	1	TT40072 PM	50	200	Şebeke bağlantılı
7	30.000	Proven WT	10.000	2	TT40072 PM	20	500	Şebeke bağlantılı
8	35.000	Proven WT	15.000	1	TT40072 PM	100	200	Şebeke bağlantılı
9	40.000	Endurance G-3120	10.000	3	TT40072 PM	25	400	Şebeke bağlantılı
10	50.000	Endurance G-3120	30.000	1	TT40072 PM	50	400	Şebeke bağlantılı



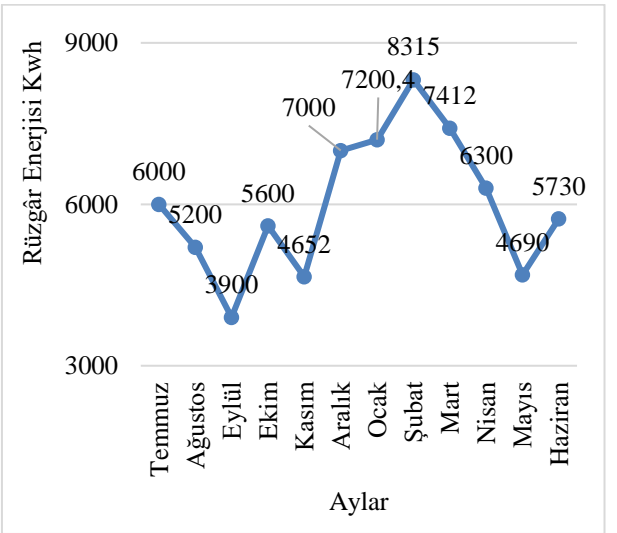
Şekil 6. Whisper 500 rüzgâr türbin eğrisi.



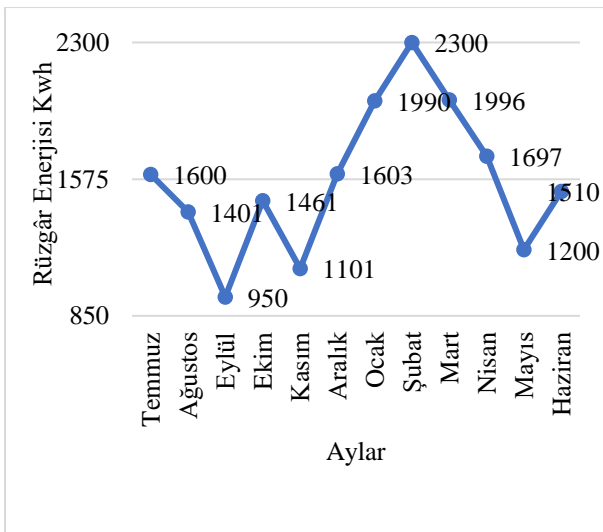
Şekil 7. BERGEY XL -1 rüzgâr türbin eğrisi.



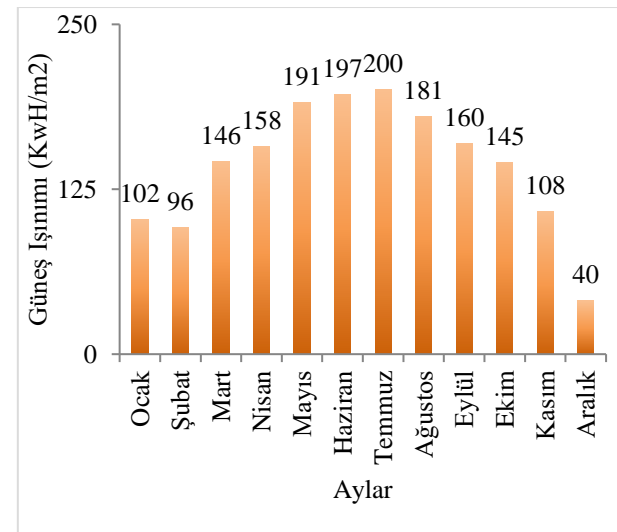
Şekil 8. Iskra At5-1 rüzgâr türbin eğrisi.



Şekil 9. Endurance G 3120 rüzgâr türbin eğrisi.



Şekil 10. Proven WT rüzgâr türbin eğrisi.



Şekil 11. Aylık en yüksek ışınım değerleri.

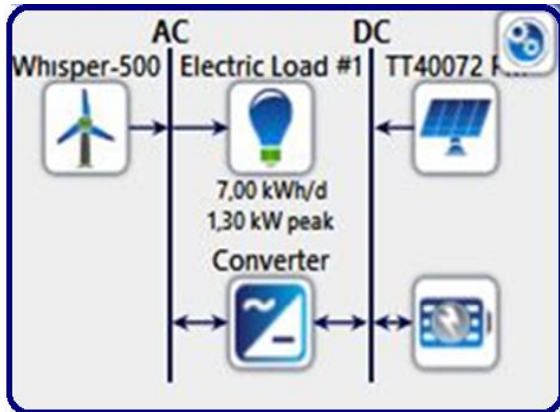
Şekilden görüldüğü gibi sıcaklıkların en yüksek olduğu temmuz ve ağustos aylarında güneş ışınımı 197 kWh/m² ve 198 kWh/m² iken, sıcaklıkların en düşük olduğu şubat ayında 95 kWh/m²'tir.

Değerlendirme

Hibrit enerji sisteminin kurulumunda 10 farklı senaryoya göre rüzgâr türbinlerinden ve güneş panellerinden elektrik enerjisi elde edilmektedir. Şebekeden bağımsız olarak oluşturulan 5 senaryo için inverterler, şarj kontrolörleri ve akümülatörler gibi sistem bileşenleri de analiz edilmiştir. Tasarımı yapılan her bir hibrit sistem için rüzgâr, güneş ve hibrit enerji üretim değerleri her ay için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplamalar gerçeğe yakın değerler elde eden PvSol programı ile yapılmıştır. Şebekeden bağımsız bir hibrit güç sisteminde akü seçerken, aküde rüzgâr ve güneş enerjisi birikeceğinden, birleşik kapasitenin en yüksek olduğu ay çok önemlidir. Şebekeye bağlı bir hibrit enerji sistemleri doğrudan şebekeye bağlı olduğu için enerji depolaması dikkate alınmaz, dolayısıyla akümülatör ve şarj regülatörü kullanılmaz.

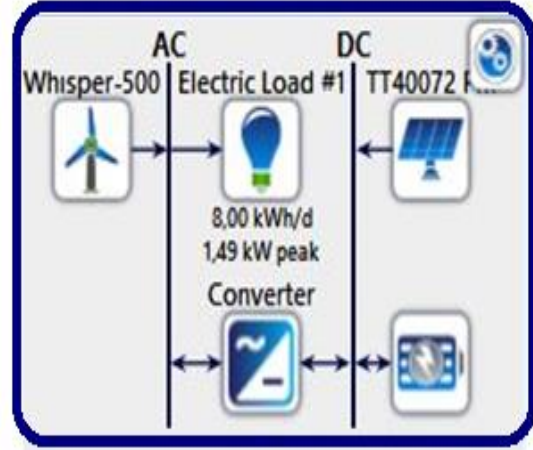
Şebekeden Bağımsız Hibrit Sistem Senaryolarına İlişkin Değerlendirmeler

Tasarımı yapılan hibrit sistem senaryolarında ilk beş senaryo şebekeden bağımsız olarak tasarlanmıştır. Şebekeden bağımsız sistemlerin kurulu güçleri sırasıyla 7000, 8000, 9000, 10000 ve 15000 KW olarak belirlenmiştir. Hibrit enerji sisteminin 7000 W kurulu güce sahip 1. senaryosuna göre; senaryonun 3000 W'lık kısmını rüzgâr türbini, 4000 W'lık kısmını güneş paneli oluşturmaktadır. 7000 W kurulu güce sahip bir hibrit enerji sisteminin ilk senaryosunda 3000 W güce sahip Whisper 500 rüzgâr türbininden 1 adet, 200 W güce sahip, her biri 1,5 m² alana sahip TT40072 güneş panelinden 20 adet kullanılmıştır. Sistemde 2 adet Lexron KS5000 inverter ve 7 adet tam 12V Mutlu EFB akü kullanılmıştır. Rüzgâr potansiyeli sonuçları incelendiğinde, çalışmada kullanılan Whisper-500 tipi 1 adet rüzgâr türbininden elde edilen aylık enerji üretim değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda rüzgâr açısı, rüzgâr yönü, rüzgâr şiddeti parametreleri dikkate alınmıştır. Rüzgâr gücünün en yüksek şubat ve mart aylarında, en düşük ise eylül ayında olduğunu gözlemlenmiştir. Senaryo 1 için tasarımı yapılan hibrit sisteme ait şematik görünüm Şekil 12'de verilmiştir.



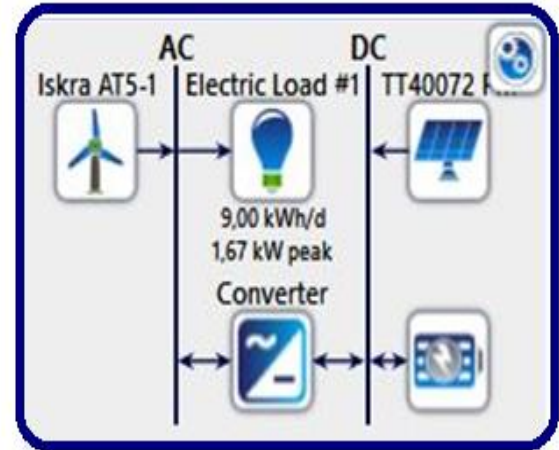
Şekil 12. Senaryo_1 sistem şeması.

2. senaryoya göre tasarlanan 8000 W kurulu güce sahip hibrit enerji 4000 W'lık kısmını rüzgâr türbini, 4000 W'lık kısmını güneş paneli oluşturmaktadır. Senaryoda Whisper-500 rüzgâr türbininden (2000 W kapasiteli) 2 adet rüzgâr türbini ve 250 W TT0072 PM tipi güneş panelinden 16 adet kullanılmıştır. Senaryo 2 için tasarımı yapılan hibrit sisteme ait şematik görünüm Şekil 13'te verilmiştir.



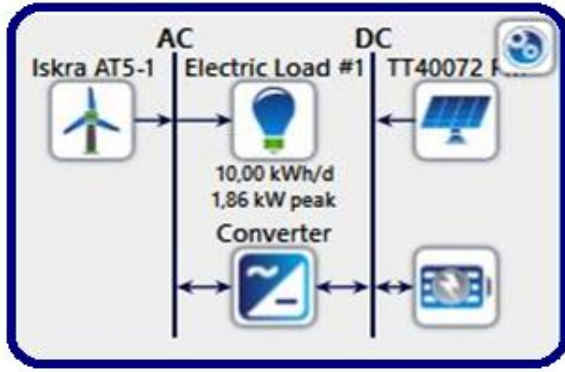
Şekil 13. Senaryo_2 sistem şeması.

9000 W kurulu güce sahip hibrit enerji sisteminin 3. Senaryoda 3000 W'lık kısmını rüzgâr türbini, 6000 W'lık kısmını güneş paneli oluşturmaktadır. 1 adet Iskra AT51 3000W rüzgâr türbini ve 200 W'lık TT0072 PM güneş panelinden 30 adet kullanılmıştır. Senaryo 3 için tasarımı yapılan hibrit sisteme ait şematik görünüm Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14. Senaryo_3 sistem şeması.

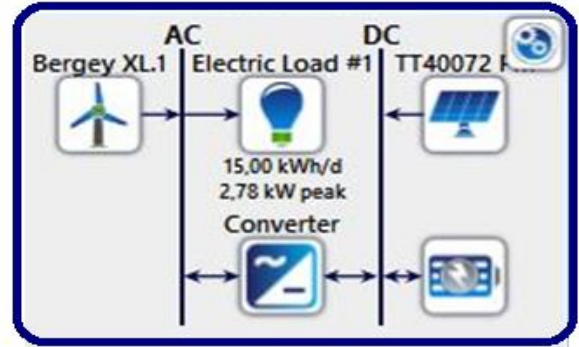
10000 W kurulu güce sahip 4. senaryo göre hibrit güç sisteminde kurulu gücün 5000W kısmını rüzgâr türbini, 5000W kısmını güneş paneli oluşturmaktadır. 5000W kapasiteli Iskra AT5-1 rüzgâr türbinlerinden 1 adet, 100 W TT0072 PM'li güneş panelinden 50 adet kullanılmış olup, her biri 1.5 m² alana sahiptir. Senaryo 4 için tasarımı yapılan hibrit sisteme ait şematik görünüm Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 15. Senaryo_4 sistem şeması.

15000 W kurulu güce sahip karma güç sisteminin 5. senaryosuna göre kurulu gücün 5000 W kısmını rüzgâr türbini, 10.000W kısmını güneş paneli oluşturmaktadır. Tasarımda 2500 W'lık Bergedy XL.1 rüzgâr türbinlerinden 2 tane ve 250 W'lık TT0072 PM güneş panellerinden 40

adet kullanılmıştır. Senaryo 5 için tasarımı yapılan hibrit sisteme ait şematik görünüm Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. Senaryo_5 sistem şeması.

Şebekeden bağımsız olarak tasarımı yapılan senaryoların aylık bazda Güneş Enerjisinden üretilen enerji (GES), Rüzgar Enerjisinden üretilen enerji (RES) ve toplam hibrit üretim enerji üretim değeri (Hibrit) Tablo 6'da verilmiştir.

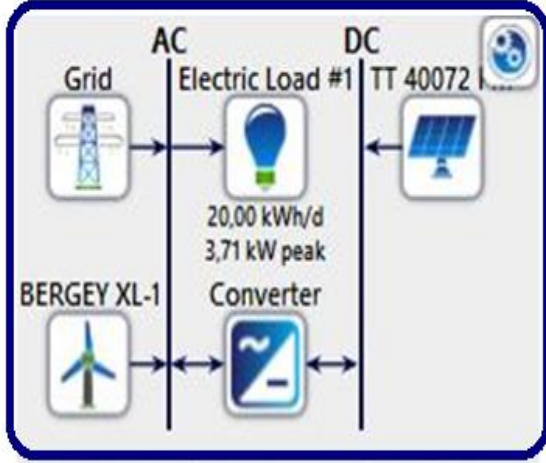
Tablo 6. Şebekeden bağımsız senaryoların aylık analiz verileri.

Senaryo No	Kurulu Güç(W)	Üretim	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Senaryo 1	7000	GES	400	399	560	631	761	781	795	731	650	572	425	361	7065
		RES	390	461	390	341	235	296	311	271	190	293	236	341	3754
		Hibrit	791	859	951	972	996	1077	1106	1001	840	865	661	701	10820
Senaryo 2	8000	GES	496	450	690	780	950	970	996	901	782	700	500	430	8646
		RES	390	458	390	340	236	295	315	270	190	295	246	326	3752
		Hibrit	886	908	1081	1121	1186	1266	1311	1171	972	996	746	756	12399
Senaryo 3	9000	GES	396	380	560	618	761	775	790	755	621	551	411	341	6960
		RES	650	771	670	571	410	511	541	470	328	510	399	560	6391
		Hibrit	1046	1151	1231	1189	1171	1286	1331	1226	950	1061	809	901	13351
Senaryo 4	10000	GES	495	472	691	770	947	971	990	911	796	711	531	451	8735
		RES	660	781	671	568	410	510	546	471	331	499	395	563	6406
		Hibrit	1156	1253	1361	1339	1357	1481	1536	1381	1127	1209	926	1014	15141
Senaryo 5	15000	GES	495	470	690	771	946	970	980	911	791	690	525	450	8689
		RES	736	871	759	628	446	570	600	512	349	546	415	611	7042
		Hibrit	1231	1341	1449	1399	1391	1540	1581	1423	1139	1236	940	1061	15731

Senaryoların tamamının aylık üretim verilerine bakıldığında güneş panelinden üretilen enerji en fazla temmuz ayında olurken rüzgâr panelinden üretilen enerji ise en fazla şubat ayında gerçekleşmiştir. Temmuz ayında güneş panellerinin ışınım değerlerini yüksek olması şubat ayında ise rüzgâr değerinin yüksek olması üretim verilerine yansımıştır

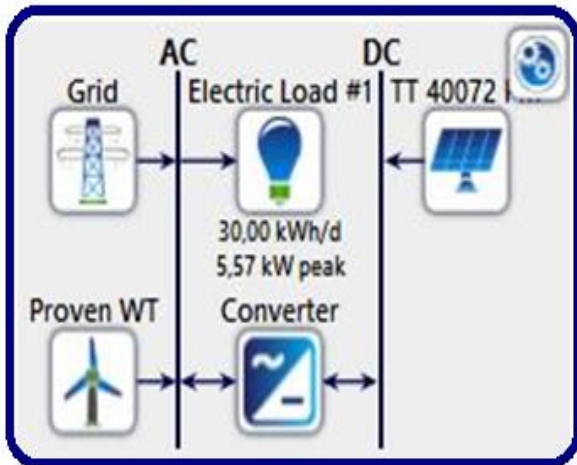
Şebekeye Bağlı Hibrit Sistem Senaryolarına İlişkin Değerlendirmeler

Şebeke bağlantılı hibrit enerji sisteminin 6. senaryosuna göre 20 kW kurulu gücün 10 KW'ını rüzgâr türbinleri ve 10 KW kısmını güneş paneli oluşturmaktadır. 10 kW'lık Bergey XL.1 rüzgâr türbinlerinden 1 adet ve 200W kapasiteli 50 adet TT0072 PM güneş paneli kullanılmıştır. 50 adet TT0072 PM güneş paneli birbirleriyle seri bağlanan 10'arlı panel gruplarının tekrar birbirleriyle paralel bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Senaryo 6 için tasarımı yapılan hibrit sisteme şema görünümü Şekil 17'de verilmiştir.



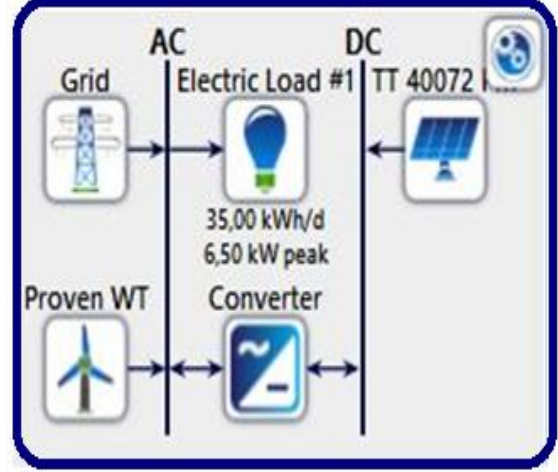
Şekil 17. Senaryo_6 sistem şeması.

Şebeke bağlantılı hibrit sistem tasarımlarında 7. Senaryo göre 30 kW kurulu güce sahiptir. Bu sistemin 10 KW'lık kısmı için Bergey XL.1 rüzgâr türbinlerinden 2 adet kullanılmış ve 500 W TT0072 PM güneş panelinden 20 adet kullanılmıştır. Senaryo 7 için tasarımı yapılan hibrit sisteme şema görünümü Şekil 18'de görüldüğü gibidir.



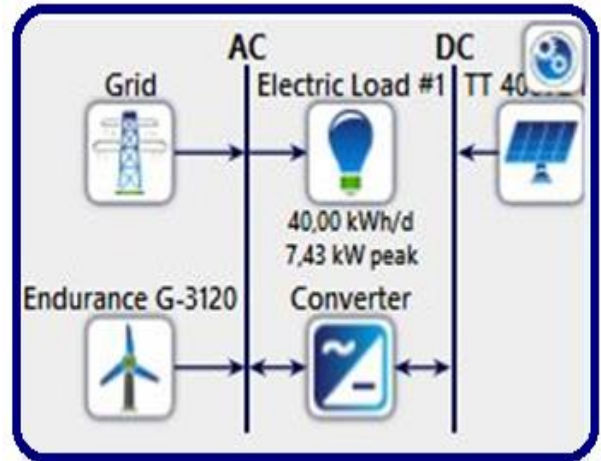
Şekil 18. Senaryo_7 sistem şeması.

Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinden 35 kW kurulu gücündeki 8. senaryoya göre kurulu gücün 15kW'lık kısmını Proven WT rüzgâr türbininden 1 adet, 200 W'lık TT40072 PM güneş panelinden 100 adet kullanılmıştır. 100 adet TT40072 PM güneş panelleri birbirleriyle seri bağlanan 10'arlı panel gruplarının tekrar birbirleriyle paralel bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Senaryo 8 için tasarımı yapılan hibrit sisteme şema görünümü Şekil 19'da görüldüğü gibidir.



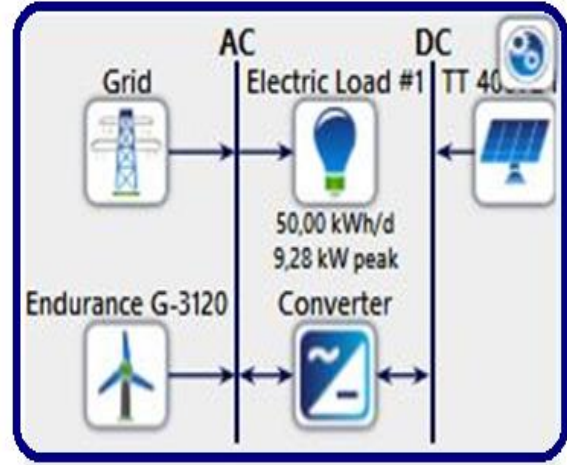
Şekil 19. Senaryo_8 sistem şeması.

Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinden 40 kW kurulu gücündeki 9. senaryoya göre; Senaryonun 30 kW'lık kısmını Endurance G-3120 model rüzgâr türbinini 10 kW'lık kısmını TT40072 PM model güneş paneli oluşturmaktadır. 10 kW güce sahip Endurance G3120 rüzgâr türbininden 3 adet. 400W kurulu güce sahip her biri 1.5 m² alana sahip TT40072 PM güneş panelinden 25 adet kullanılmıştır. 25 adet TT40072 PM güneş panelleri birbirleriyle seri bağlanan 5'erli panel gruplarının tekrar birbirleriyle paralel bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Senaryo 9 için tasarımı yapılan hibrit sisteme şema görünümü Şekil 20'de verilmiştir. Tasarlanan hibrit sistemde 2 adet REVO-E PLUS invertör kullanılmıştır



Şekil 20. Senaryo_9 sistem şeması.

Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinden 50 kW kurulu gücündeki 10. senaryoya göre; Senaryonun 30 kW'lık kısmını rüzgâr türbini, 20 kW'lık kısmını güneş paneli oluşturmaktadır. 30 kW'lık Endurance G-3120 rüzgâr türbini modelinden 1 adet, TT40072 PM 400 W'lık PM güneş panelinden 50 adet ve REVO-E PLUS invertörden 2 adet kullanılmıştır. 50 adet TT40072 PM güneş paneli. Birbirleriyle seri bağlanan 5'erli panel gruplarının tekrar birbiriyle paralel bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Senaryo 10 için tasarımı yapılan hibrit sisteme şema görünümü Şekil 21'de görüldüğü gibidir. Çalışmada analizi yapılan senaryoların hibrit enerji üretim verileri Tablo 7'de verilmiştir. Şebeke bağlantılı sistemlerde de aylık enerji üretim verileri incelendiğinde güneş panelinden üretilen enerji en fazla temmuz, rüzgâr panelinden üretilen enerji ise en fazla Şubat ayındadır.



Şekil 21. Senaryo_10 sistem şeması

Tablo 7. Şebekeye bağlı senaryoların aylık analiz verileri.

Senaryo No	Kurulu Güç(W)	Üretim	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Senaryo 6	20000	GES	986	938	1450	1541	1896	1940	1975	1820	1601	1391	1050,6	896	17484
		RES	736	891	755	629	446	571	590	510	360	546	416	606	7055
		Hibrit	1721	1829	2206	2170	2341	2511	2566	2331	1961	1936	1466	1502	24539
Senaryo 7	30000	GES	985	938	1380	1541	1890	1941	1971	1810	1591	1402	1046	895	17391
		RES	1903	2281	1986	1650	1175	1510	1581	1346	911	1420	1089	1598	18449
		Hibrit	2888	3219	3366	3191	3065	3451	3551	3156	2501	2822	2135	2494	35839
Senaryo 8	35000	GES	990	941	1400	1550	1901	1941	1991	1801	1590	1391	1040	890	17425
		RES	1900	2300	1981	1600	1180	1520	1583	1350	920	1450	1092	1590	18467
		Hibrit	2891	3241	3381	3150	3081	3461	3554	3150	2510	2841	2132	2480	35892
Senaryo 9	40000	GES	495	469	692	770	946	968	986	906	796	701	525	449	8702
		RES	7191	8220	7400	6235	4656	5721	5999	5200	3869	5570	457	6295	66813
		Hibrit	7686	8689	8092	7006	5602	6689	6984	6106	4665	6271	983	6744	75516
Senaryo 10	45000	GES	991	946	1400	1540	1891	1956	1976	1820	1590	1401	1057	950	17517
		RES	7301	8351	7401	6301	4785	5875	6000	5201	3854	5582	4570	6299	71519
		Hibrit	8291	9296	8801	7841	6676	7832	7976	7021	5444	6983	5627	7249	89036

GES: Güneş enerjisinden üretilen enerji (KWh), RES: Rüzgâr enerjisinden üretilen enerji (kWh), Hibrit: Toplam enerjiyi (kWh) ifade etmektedir.

Tartışma

Çalışmada tasarımı yapılan senaryoların analizleri PvSol programı ile yapılmıştır. PvSol programı 3 boyutlu modelleme yaparken googlemaps tabanından ölçekli ve azimutlu veri çeker. Özellikle 3 boyutlu tasarımlarda gerçek gölge analizi ve optimum yerleşim sağlama yönü ile analiz sonuçları gerçek değerlere oldukça yakındır. PvSol programının uygulama ile karşılaştırma yapıldığı çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu çalışmalardan birkaçı aşağıda özetlenmiştir.

Bayrakçı ve arkadaşları çalışmasında Aydın İli'nde 1MW'lık GES santralinin gerçek elektrik üretim verileri ile simülasyon analiz değerlerini karşılaştırmıştır. Çalışmada gerçeğe yakın değerler elde etmiştir [38].

Ceylan ve ark. 1MW kurulu güç kapasitesine sahip, Isparta İli'ndeki GES santralinin gerçek üretim değerleri ile simülasyon analizi üretim değerlerini karşılaştırmıştır. Simülasyonlarda Helioscope, PVGIS, Polysun ve PVSol programları kullanılmıştır. Buna göre belirtilen programlar için sırasıyla +%1,2, +%1,3, -%3,6 ve -%7,5 sapma payı olduğu belirtilmiştir [39].

Kınalı çalışmasında 1000KW, 500 KW ve 250 KW kurulu güç kapasitesine sahip GES santrallerinin gerçek üretim verileri ve simülasyon analiz değerlerini karşılaştırmıştır. Simülasyonlarda PVGIS, PVSOL, PVSyst programları kullanılmıştır. Buna göre gerçek üretim ile analiz sonucunda elde edilen üretim verileri arasında PVGIS, PVSOL, PVSyst programlarında sırasıyla +%0,1, +%0,3 ve +%0,2 sapma payı hesaplanmıştır [40].

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada kurulu güç kapasiteleri 5-50 kW arasında değişen 10 adet hibrit enerji sistemi senaryo için tasarım yapılmıştır. Senaryolar oluşturulurken güneş panelleri ve rüzgâr türbinlerinin kurulu gücü dikkate alınmış her senaryo için uygun seviyede güneş ve rüzgâr enerjisi seçilmiştir. Çalışmalarda şebekeden bağımsız 5-15 KW arası 5 senaryo için kurulu güce ve üretilen enerjiye bağlı olarak akümülatör ve üretilen enerjiyi depolamak için gereken şarj regülatörü hesaplamaları yapılmıştır. 20 KW'dan 50 KW'a kadar 5 adet hibrit sistem tasarımında enerji sistemi şebekeye bağlı olduğundan akümülatör kullanılmadığından bu nedenle şarj regülatörüne ihtiyaç duyulmamıştır. Ancak bu sistemlerde güneş paneli tarafından üretilen doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek için sistem voltajı ve akımına uygun inverterler kullanılmaktadır. Şebekeye bağlı durumlarda kullanılan rüzgâr türbinleri ise yapılarında invertör bulunduğundan başka bileşenler kullanılmadan doğrudan şebekeye bağlanabilir. Rüzgâr türbininden üretilen enerji hesaplanırken; Balıkesir'in İli rüzgâr hızı ölçümleri kullanılmıştır. Senaryo tasarımlarında üretilen hibrit enerji değerlerini hesaplarken özellikle sistem bileşenlerinin verimi dikkate alınmıştır. Hibrit enerji sisteminin kurulu gücü arttıkça üretilen enerjinin de arttığı gözlemlenmiştir. Senaryolar incelendiğinde yapılan değerlendirmeler sonucunda en yüksek güneş kapasitesinin temmuz ayında, en düşük rüzgâr kapasitesinin ise şubat ayında gerçekleştiği

tespit edilmiştir. Bunun en önemli nedeni ise yazın güneşin daha parlak ve çok olması, kışın ise rüzgârın daha çok olmasıdır. Yenilenebilir kaynakların kullanımının artmasıyla birlikte, ulusal ve küresel ölçekte sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Çevre ile uyumlu, kaynakların yüksek verimlilikle değerlendirilmesi gerekir. Başta rüzgâr ve güneş enerjisi olmak üzere yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının Avrupa Birliği ülkelerinde hızla yaygınlaşması ve uygulama alanlarının artması nedeniyle Türkiye'de bu konuda gerekli düzenlemelerin güçlendirilmesi ve bir an önce hayata geçirilmesi gerekmektedir.

Bu amaçla. Türkiye'de rüzgâr ve güneş enerjisinin gelişimi için ulusal enerji programlarının hazırlanması ve bu programların kamu kurumları, özel sektör ve akademi iş birliği ile geliştirilmesi gerekmektedir. Yatırım potansiyeli yüksek yerlerden, diğer bölgelerde ise yatırımın teknolojik yeteneklerine göre ve günlük maliyetleri düşürmeye paralel olarak uygulanmalıdır.

Kaynaklar

- [1] M. Demirtaş, "Güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak şebeke ile paralel çalışabilen hibrit enerji santral tasarımı ve uygulaması," Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.
- [2] M. Engin, "Fotovoltaik rüzgâr hibrit enerji sisteminin izmir koşullarında tasarımı ve denemesi," Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2002.
- [3] Dünya Enerji Konseyi Türkiye 2021 Küresel Enerji Raporu, Erişim: <https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2021/04/2021-Kuresel-Enerji-Raporu-Ozeti.pdf>. 13.12.2021
- [4] Enerji Sektör Görünümü (TSKB). Erişim: <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2021.pdf>. 10.09.2021
- [5] S. Ashok, "Optimised model for community-based hybrid energy system," *Renew. Energy*, vol. 32, no. 7, pp. 1155–1164, 2007.
- [6] Worlddata, Energy consumption. Erişim: https://ourworldindata.org/explorers/energy?facet=no&country=USA~GBR~CHN~OWID_WRL~IND~BRA~ZAF&Total+or+Breakdown=Total&Energy+or+Electricity=Primary+energy&Metric=Annual+consumption. 05.11.2021.
- [7] TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi), Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri, 2008, Türkiye Kurulu Gücünün Yıllar İtibariyle Gelişimi. Erişim: <http://www.teias.gov.tr/istatistik2008/1.xls>. 15.12.2021.
- [8] J. Li, W. Wei, and J. Xiang, "A simple sizing algorithm for stand-alone PV/wind/battery hybrid microgrids," *Energies*, vol. 5, no. 12, pp. 5307–5323, 2012.
- [9] T. Senjyu, D. Hayashi, A. Yona, N. Urasaki, and T. Funabashi, "Optimal configuration of power generating systems in isolated island with renewable energy," *Renew. Energy*, vol. 32, no. 11, pp. 1917–1933, 2007.
- [10] M. A. Elhadidy, "Performance evaluation of hybrid (wind/solar/diesel) power systems," *Renew. Energy*, vol. 26, no. 3, pp. 401–413, 2002.

- [11] D. Nelson, M. Nehrir, and C. Wang, "Unit sizing and cost analysis of stand-alone hybrid wind/PV/fuel cell power generation systems," *Renew. Energy*, vol. 31, no. 10, pp. 1641–1656, 2006.
- [12] V. Marano, G. Rizzo, and F. A. Tiano, "Application of dynamic programming to the optimal management of a hybrid power plant with wind turbines, photovoltaic panels and compressed air energy storage," *Appl. Energy*, vol. 97, pp. 849–859, 2012.
- [13] M. S. Ismail, M. Moghavvemi, and T. Mahlia, "Genetic algorithm-based optimization on modeling and design of hybrid renewable energy systems," *Energy Convers. Manag.*, vol. 85, pp. 120–130, 2014.
- [14] K. Sasidhar and B. J. Kumar, "Optimal sizing of PV-Wind Hybrid energy system using Genetic Algorithm (GA) and Particle swarm optimization (PSO)," *Int. J. Sci. Eng. Technol. Res. IJSETR*, vol. 4, no. 2, 2015.
- [15] P. Sangeetha and S. Suja, "Modeling and heuristic based optimal sizing of PV wind system," presented at the 2017 International Conference on Innovations in Electrical, Electronics, Instrumentation and Media Technology (ICEEIMT), 2017, pp. 359–363.
- [16] S. Diaf, G. Notton, M. Belhamel, M. Haddadi, and A. Louche, "Design and techno-economical optimization for hybrid PV/wind system under various meteorological conditions," *Appl. Energy*, vol. 85, no. 10, pp. 968–987, 2008.
- [17] L. Dong and C. Chen, "Size optimisation of hybrid wind-PV power generation systems for remote rural areas," *Int. J. Glob. Energy Issues*, vol. 24, no. 3–4, pp. 259–266, 2005.
- [18] A. Ozdamar, N. Ozbalta, A. Akin, and E. D. Yildirim, "An application of a combined wind and solar energy system in Izmir," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 9, no. 6, pp. 624–637, 2005.
- [19] R. W. Wies, R. A. Johnson, A. N. Agrawal, and T. J. Chubb, "Simulink model for economic analysis and environmental impacts of a PV with diesel-battery system for remote villages," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 2, pp. 692–700, 2005.
- [20] A. Fetanat and E. Khorasaninejad, "Size optimization for hybrid photovoltaic-wind energy system using ant colony optimization for continuous domains-based integer programming," *Appl. Soft Comput.*, vol. 31, pp. 196–209, 2015.
- [21] A. N. Celik, "Techno-economic analysis of autonomous PV-wind hybrid energy systems using different sizing methods," *Energy Convers. Manag.*, vol. 44, no. 12, pp. 1951–1968, 2003.
- [22] M. Elhadidy and S. Shaahid, "Feasibility of hybrid (wind+ solar) power systems for Dhahran, Saudi Arabia," *Renew. Energy*, vol. 16, no. 1–4, pp. 970–976, 1999.
- [23] M. Hadidian-Moghaddam, S. Arabi-Nowdeh, and M. Bigdeli, "Optimal sizing of a stand-alone hybrid photovoltaic/wind system using new grey wolf optimizer considering reliability," *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 8, no. 3, p. 035903, 2016.
- [24] B. S. Borowy and Z. M. Salameh, "Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in a wind/PV hybrid system," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 11, no. 2, pp. 367–375, 1996.
- [25] H. Wang, E. Abdollahi, R. Lahdelma, W. Jiao, and Z. Zhou, "Modelling and optimization of the smart hybrid renewable energy for communities (SHREC)," *Renew. Energy*, vol. 84, pp. 114–123, 2015.
- [26] Balıkesir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. Erişim: <https://balikesir.ktb.gov.tr/TR-65836/fiziki-ozellikler.html>. 15.01.2022.
- [27] Iskra AT5-1 Measured Power Curve –Summary. Erişim:<http://www.energygridsolutions.com/pdf/iskra%20power%20curve.pdf>. 13.12.2021.
- [28] Endurance G-3120 Wind Turbine Specificaiton. Erişim:<http://www.endurancewindpower.com/g3120.html>. 08.12.2021.
- [29] Bergey BWC Excel 10 kW Wind Turbine, Erişim: <http://www.bergey.com/Products/Excel.Spec.Frt.pdf>. 15.12.2021.
- [30] Whisper 500, Tecnical Spesification. Erişim: http://www.realgoods.com/text/pdf/whisper_spec.pdf. 08.10.2021.
- [31] Proven WT 15000 15 kW Wind Turbine. Erişim: <http://www.naturalgen.co.uk/pdfs/Tech%20specs%2015kW.pdf>. 14.12.2021
- [32] Tommatech 400 Watt 72 Percmono Güneş Paneli. Erişim:<https://gunestenenerji.com/product/tt400wp-72-hucrelı-percmono-gunes-paneli-26.html>. 25.12.2021.
- [33] Solar Led, Poli Kristal Paneller, Erişim: http://www.solarledtech.com/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=107&lang=tr. 06.11.2021.
- [34] Tristar Şarj Regülatörünün Teknik Özellikleri. Erişim: <http://www.btekenery.com / documents / Tristar.pdf>. 06.10.2021.
- [35] Mutlu Akü - Mini Trak- Full Enerji Akülerinin teknik özellikleri. Erişim: http://www.mutlu.com.tr/common/file/mutlu_minitrak.pdf. 16.12.2021.
- [36] G. Köse, "Hibrit (Güneş +Ruzgar) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi: Kutahya Orneği," Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2010.
- [37] W. Dong, Y. Li, and J. Xiang, "Optimal sizing of a stand-alone hybrid power system based on battery/hydrogen with an improved ant colony optimization," *Energies*, vol. 9, no. 10, p. 785, 2016.
- [38] H. C. Bayrakçı and T. Gezer, "Bir Güneş Enerjisi Santralinin Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği," *Tek. Bilim. Derg.*, vol. 9, no. 2, pp. 46–54, 2019.
- [39] O. Ceylan and K. Taşdelen, "Isparta İli için Fotovoltaik Programlarının Simülasyon Sonuçlarının Doğruluğunun İncelenmesi," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendis. Bilim. Derg.*, vol. 18, no. 3, pp. 895–903, 2018.
- [40] M. Y. Kınalı, "Güneş Enerjisi Simülasyon Programlarının Gerçek Verilerle Doğruluk Analizi," Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya, 2019.



Araştırma Makalesi / Research Article

RF enerji hasatlama için 915 MHz taşıyıcı frekansında mikroşerit anten tasarımı ve uygulaması

*Design and implementation of microstrip antenna at 915 MHz carrier frequency for RF energy harvesting*Hussein YOUSEFALTURK¹, Mustafa CANSIZ^{2*}¹ Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, huseyin90alturk@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5237-4448>² Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, mustafa.cansiz@dicle.edu.tr, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2534-9770>

MAKALE BİLGİLERİ

ÖZ

Makale Geçmişi:

Geliş 29 Temmuz 2022
Revizyon 5 Ağustos 2022
Kabul 7 Ağustos 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

Enerji hasatlama, Mikroşerit anten, RF sinyali, Anten tasarımı, HFSS

Radyo Frekansı (RF) enerji hasatlama sistemleri günümüzde alternatif bir enerji kaynağı olarak adlandırılmakta ve ortamda bulunan mevcut elektromanyetik enerjinin kullanılmasını hedeflemektedir. Bu enerji hasatlama sistemlerinin amaçlarından biri, düşük güç tüketimine sahip haberleşme sistemleri ile birlikte kullanılıp batarya ömrünü uzatmaktır. RF enerji hasatlama sistemi; anten, empedans uyumlandırma, RF doğrultucu devresi, DC filtre devresi ve yükten oluşmaktadır. Bu çalışmada, 915 MHz taşıyıcı frekansında ve 200 MHz bant genişliğinde bir mikroşerit anten modeli elektromanyetik yapıları sonlu elemanlar yöntemi ile çözen HFSS programı yardımıyla tasarlanmıştır. Önerilen 79x100x1.6 mm³ anten boyutu, parametrik analiz kullanılarak optimize edilmiştir. Daha sonra tasarlanan anten, düşük profilli FR4 alt katmanı üzerinde imal edilmiştir. Son aşamada vektör network analizör cihazı ile antenin ölçümleri alınmış ve geri dönüş kaybı, VSWR ve ışıma paterni gibi özellikleri değerlendirilmiştir. Tasarlanan anten kazancının 2.38 dB olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca, antenin ölçüm ve simülasyon sonuçlarının uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak, bu çalışmanın sonuçları göz önünde bulundurulduğunda, önerilen antenin 915 MHz taşıyıcı frekansında çalışan RF enerji hasatlama sistemleri için uygun bir anten olduğu tespit edilmiştir.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 29 July 2022
Received in revised form 5 August 2022
Accepted 7 August 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Energy harvesting, Microstrip antenna, RF signal, Antenna design, HFSS

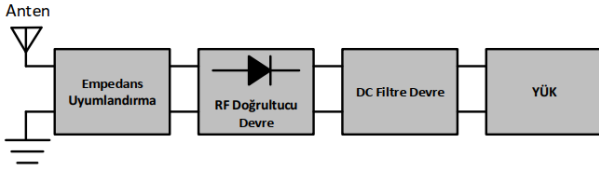
Nowadays, Radio Frequency (RF) energy harvesting systems are called an alternative energy source and target to use the electromagnetic energy available in the environment. One of the purposes of these energy harvesting systems is to extend battery life by being used with communication systems with low power consumption. RF energy harvesting system consists of antenna, impedance matching, RF rectifier circuit, DC filter circuit and load. In this study, a microstrip antenna model with a carrier frequency of 915 MHz and a bandwidth of 200 MHz was designed with the help of HFSS program that solves electromagnetic structures by finite element method. The proposed antenna size of 79x100x1.6 mm³ has been optimized using parametric analysis. Later, designed antenna was fabricated on a low profile FR4 substrate. In the last step, the measurements of the antenna were taken by the vector network analyzer device and the characteristics such as return loss, VSWR and radiation pattern were evaluated. The designed antenna gain was calculated as 2.38 dB. In addition, it has been observed that the measurement and simulation results of the antenna are compatible. Finally, considering the results of this study, it has been determined that the proposed antenna is suitable for RF energy harvesting systems operating at 915 MHz carrier frequency.

Doi: 10.24012/dumf.1150600

* Sorumlu Yazar

Giriş

Günümüz koşullarında akıllı telefonlar, tabletler ve sensörler gibi birçok pilli veya pilsiz düşük güçlü cihazlar sabit güç ihtiyacı duymaktadır. Bu nedenle, düşük güçlü alternatif enerji elde etme yöntemleri popüler hale gelmektedir. Düşük bakım maliyeti, uzun ömürlü olması ve güç kaynağının sürekliliği insanların ihtiyaçları doğrultusunda gereksinim duyulan en önemli kriterler arasında yer almaktadır. Buna bağlı olarak, günümüzde ve gelecekte kullanılacak en önemli yöntemlerden biri radyo ve mikrodalga frekanslarından enerji hasatlamaktır [1]. Son zamanlarda RF enerji hasatlama teknolojisinde çok ilerlemeler kaydedilmiştir [2], [3]. Özel bir kaynaktan veya ortamda bulunan RF enerjinin hasatlanması, düşük güçlü cihazların kablosuz olarak şarj edilmesini sağlamakta ve ayrıca ürün tasarımı, kullanım kolaylığı ve güvenilirlik açısından avantajlar sağlamaktadır [4]. Radyo frekanslı enerji hasatlama sistemleri, düşük güç tüketimi olan cihazlar için etkin bir çözüm olarak ortaya çıkmakta ve bu sistemlerin temel amacı, düşük güç tüketimli haberleşme sistemleri ile birlikte kullanılarak pil ömrünü uzatmaktır. RF enerji hasatlama sistemi, anten, empedans uyumlandırma, RF doğrultucu devresi, DC filtre devresi ve yükten oluşmaktadır [5].

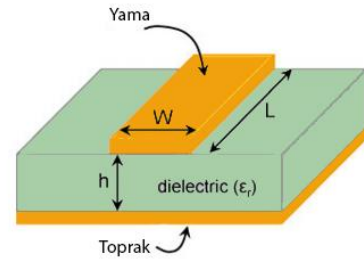


Şekil 1. RF enerji hasatlama blok şeması [6].

Şekil 1'de görüldüğü gibi, RF enerji hasatlama sisteminin ilk bileşeni olan anten, ortamdaki elektromanyetik sinyallerin alınmasından sorumludur. Empedans uyumlandırma devresi, doğrultucu devre ile anten girişi arasındaki empedans uyumsuzluğunu ortadan kaldırmaktadır. Dolayısıyla, empedans uyumlandırma devresi sistemdeki kayıpları önlemektedir. Daha sonra doğrultulan sinyalin DC çıkış gücü yüke aktarılmadan önce DC filtre devresi tarafından filtrelenmektedir. Hasat edilen enerji miktarı, ortamdaki güç yoğunluğuna, güç dönüşümünün verimliliğine (RF'den DC'ye) ve RF enerji hasatlama sisteminin boyutuna bağlıdır. Diğer bir deyişle, RF enerji hasatlama sisteminin performansı empedans uyumu, doğrultucu devresi ve en önemlisi antenin verimliliğine bağlıdır [7]. 2019 yılında RF enerji hasatlama sistemlerinin verimliliği ile ilgili kapsamlı bir inceleme yapılmıştır. Yapılan çalışmada, bir RF enerji hasatlama sisteminin performansının, iletim gücü, yayılma mesafesi, frekans bandı, çalışma gerilimi, anten kazancı ve anten sayısı gibi birçok faktöre bağlı olduğu belirtilmiştir [8]. Bu bilgiler ışığında, RF enerji hasatlama sisteminin en önemli bileşeni antendir, çünkü anten ortamdaki var olan elektromanyetik sinyallerin alıcısı olarak çalışmaktadır. Bu yüzden, bu çalışmada RF enerji hasatlama sistemleri için bir mikroşerit anten tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

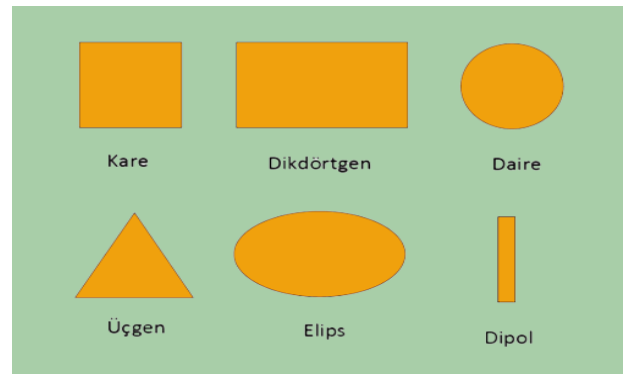
Mikroşerit Antenler

Mikroşerit anten veya yama anten olarak adlandırılan anten, küçük boyutlarının yanı sıra analiz ve kurulum kolaylığı nedeniyle yaygın olarak kullanılan antenlerden biri haline gelmiştir. Genellikle bu anten 1 GHz'den yüksek olan frekanslarda daha çok kullanılır. Örneğin bu antenler mobil cihazlar, uçaklar ve uydular gibi birçok uygulamada kullanılmaktadırlar. Mikroşerit anten, Şekil 2'de gösterildiği gibi bakır veya altın gibi iletken ve Rogers veya FR4 gibi yalıtkan iki katmandan oluşmaktadır. Üst kısım L uzunluğuyla ve W genişliğiyle yama şeklinde, alt kısım ise toprak yüzeyi temsil etmekte ve bunların arasında h kalınlığıyla elektrik yalıtkanı bulunmaktadır.



Şekil 2. Mikroşerit antenin yapısı.

Mikroşerit antenlerin avantajları; küçük boyutlu, düşük profilli, hafif, düzlemsel ve düzlemsel olmayan yüzeylere uyumlu olmasıdır. Montaj sırasında yapının çok az bir hacmini doldurur. Modern baskılı devre teknolojisi kullanılarak üretimi basit ve ucuzdur. Ancak, mikroşerit antenlerin dezavantajları da vardır. Mikroşerit antenlerin başlıca dezavantajları şunlardır: düşük verimlilik, %5'ten daha az dar bant genişliği, radyasyon yaması ve toprak düzlemi arasındaki küçük ayırım nedeniyle düşük RF gücüdür (yüksek güçlü uygulamalar için uygun değildir). Mikroşerit antenlerin yaması, Şekil 3'te görüldüğü gibi birkaç farklı şekle sahiptirler, ancak en popülerleri kare, dikdörtgen ve dairesel olanlardır.



Şekil 3. Mikroşerit anten yamaları.

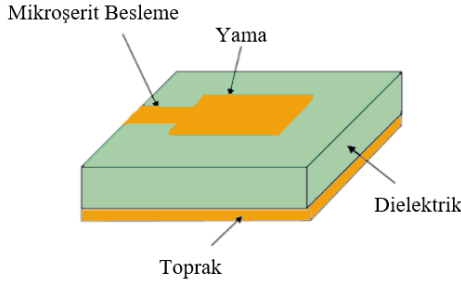
İyi performanslı bir anten elde etmek için, genel olarak düşük dielektrik sabiti olan bir yalıtkan tercih edilmelidir, çünkü bu daha büyük bant genişliği ve daha iyi ışıma ve aynı zamanda daha fazla verimlilik sağlayacaktır [9]. Literatürdeki çalışmalarda çoğunlukla dikdörtgen veya dairesel mikroşerit anten yamaları tercih edilmiştir.

Mikroşerit Antenlerin Besleme Teknikleri

Mikroşerit antenleri beslemek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır ve bunlar temel olarak iki ana bölüme ayrılır: temaslı besleme yöntemi ve temassız besleme yöntemi. Temaslı yöntemde, RF sinyali bir konnektör kullanılarak doğrudan anten yamasına iletilmektedir. Temassız yöntemde ise, besleme hattı ile ışıma yapan yamanın arasında elektromanyetik kuplaj kullanılmaktadır. Birçok yöntem bu iki ana yöntemden çoğaltılmıştır, ancak en çok tercih edilen teknikler aşağıdaki gibidir [10]:

- Mikroşerit hat besleme
- Koaksiyel besleme
- Açıklık kuplajlı besleme
- Yakınlık kuplajlı besleme

Bu çalışmada mikroşerit hat besleme yöntemi kullanılmıştır. Şekil 4'te görüldüğü gibi, bu yöntemde bir bağlantı şeridi eklenir ve mikroşerit hattı doğrudan antenin kenarına bağlanmaktadır.



Şekil 4. Mikroşerit hat besleme.

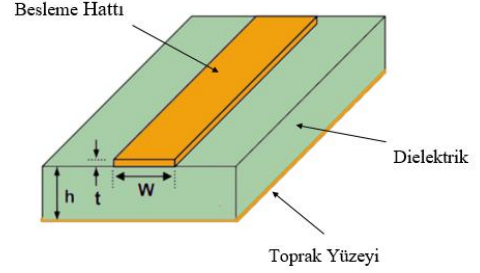
Bu besleme türü diğer yöntemlere göre bağlanması ve üretilmesi en kolay olanıdır. Ayrıca, besleme hattı ile yama arasındaki giriş empedansını eşleştirmek kolaydır. Bu nedenle mikroşerit besleme yöntemi en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir.

Mikroşerit Antenlerin Analiz Modelleri

Mikroşerit antenleri analiz etmek için kullanılan en popüler modeller aşağıda listelenmiştir:

- İletim hattı modeli
- Boşluk modeli
- Tam dalga modeli

İletim hattı modeli en kolay model sayılır ve iyi bir fiziksel kavrayış sağlamaktadır. Ayrıca ince dielektrik profiller için doğruluk derecesi yüksek olan bir yöntemdir [11]. Öte yandan, boşluk modeli iletim hattı modeli ile karşılaştırıldığında daha yüksek doğruluğa sahiptir ancak daha karmaşıktır [12], [13]. Tam dalga modeli ise diğer modellere göre en çok doğruluğa sahip modeldir ve bu model zor olmasına rağmen tek anten yapılarına, temassız antenlere ve dizi antenlere de uygulanabilmektedir [14]. Bu çalışmada, tasarım özelliklerinin belirlenmesinde iletim hattı modeli referans alınmıştır. Mikroşerit hat kesiti Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Mikroşerit hat kesiti.

Genel olarak mikroşerit anten tasarımında birçok önemli parametre mevcuttur. Bu parametreler anten giriş empedansı, geri dönüş kaybı, polarizasyon, ışıma örüntüsü, yönlülük, kazanç faktörü ve bant genişliği başlıkları altında toplanmıştır. Mikroşerit anten yapısındaki tasarım ve simülasyonların yanı sıra mikroşerit anten parametreleri ve besleme teknikleri de incelenmiştir [15], [16]. Literatüre bakıldığında, son zamanlarda yapılan çalışmalarda GSM 900 MHz ya da 1800 MHz uygulaması için çok sayıda mikroşerit antenlerinin tasarımı ve analizi yapılmıştır. Bazı çalışmalarda, Rogers ve FR4 gibi farklı yalıtkan maddeler seçilmiş ve yüksek kazanç elde etmek için mikroşerit antenin geometrik yapısında boşluk açma gibi bazı modifikasyonlar yapılmıştır [17]. Bazı çalışmalarda da yamanın köşelerinde kesikler yapılmıştır [18]. Ayrıca, besleme teknikleri değiştirilerek sonuçlar incelenmiştir. Bu çalışmalar incelendiğinde, HFSS veya CST simülasyon programları kullanılarak birçok antenin tasarlandığı görülmüştür. Başka bir çalışmada anten kazancını artırmak için iki elemanlı bir doğrusal dizi yöntemi kullanılmıştır [19]. Dahası, mikroşerit antenler üzerine birçok teorik ve uygulamalı çalışmalar bulunmaktadır [20]-[22]. Önceki çalışmaların çoğunda, analiz ve tasarım kolaylığı için dikdörtgen, üçgen veya dairesel gibi düzenli şekillere sahip mikroşerit antenlere odaklandığı görülmüştür. Bu çalışmada, mikroşerit dikdörtgen yama anteni analiz edilmiş ve tasarlanmıştır, sonraki bölümde tasarım adımları ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Dikdörtgen Mikroşerit Antenin Tasarım Adımları

Dikdörtgen mikroşerit anteni tasarlamak için, öncelikle kalınlığı h , dielektrik sabiti ϵ_r ve Hz cinsinden rezonans frekansı f_r olan alt tabaka malzemesi seçilmelidir. Daha sonra anten boyutlarının belirlenmesi gerekir, yani yamanın genişliği W ve uzunluğu L tespit edilmelidir. Aynı zamanda kullanılacak besleme yöntemi de seçilmelidir. Bu çalışmada, dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4.3$ ve kalınlığı $h = 1.55$ mm olan bir alt katman olarak FR4 epoksi kullanılmıştır. Diğer taraftan, yama ve toprak yüzeyini oluşturmak için iletken malzeme olarak bakır seçilmiş ve mikroşerit hat besleme yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, tasarlanan antenin 915 MHz taşıyıcı frekansında çalışması istenmektedir. Anten yamasının boyutları aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

Adım 1: Antendeki yamanın genişliğini belirlemek için aşağıdaki bağıntı kullanılır [23].

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

Burada, W yamanın genişliğini, c ($3 * 10^{11} \text{ mm/s}$), f_r (915 MHz) çalışma frekansını ve ϵ_r (4.3) dielektrik sabitini ifade etmektedir. Bu değerler için yamanın genişliği ($W = 100.7 \text{ mm}$) olarak hesaplanmıştır.

Adım 2: ϵ_{reff} efektif dielektrik sabiti bağıntı (2) [24] ile ($\epsilon_{reff} = 4.162$) olarak belirlenmiştir.

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \right] \quad (2)$$

Adım 3: Bağıntı (3)'ten [24] yan alanlar tarafından üretilen artırımlı uzunluk ($\Delta L = 0,747$) olarak hesaplanmıştır.

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3)$$

Adım 4: L_{eff} Yamanın efektif uzunluğu (4) [25] denklemi ile hesaplanmış, ardından bağıntı (5) [25] kullanılarak yamanın gerçek uzunluğu $L = 78.85 \text{ mm}$ olarak elde edilmiştir.

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (4)$$

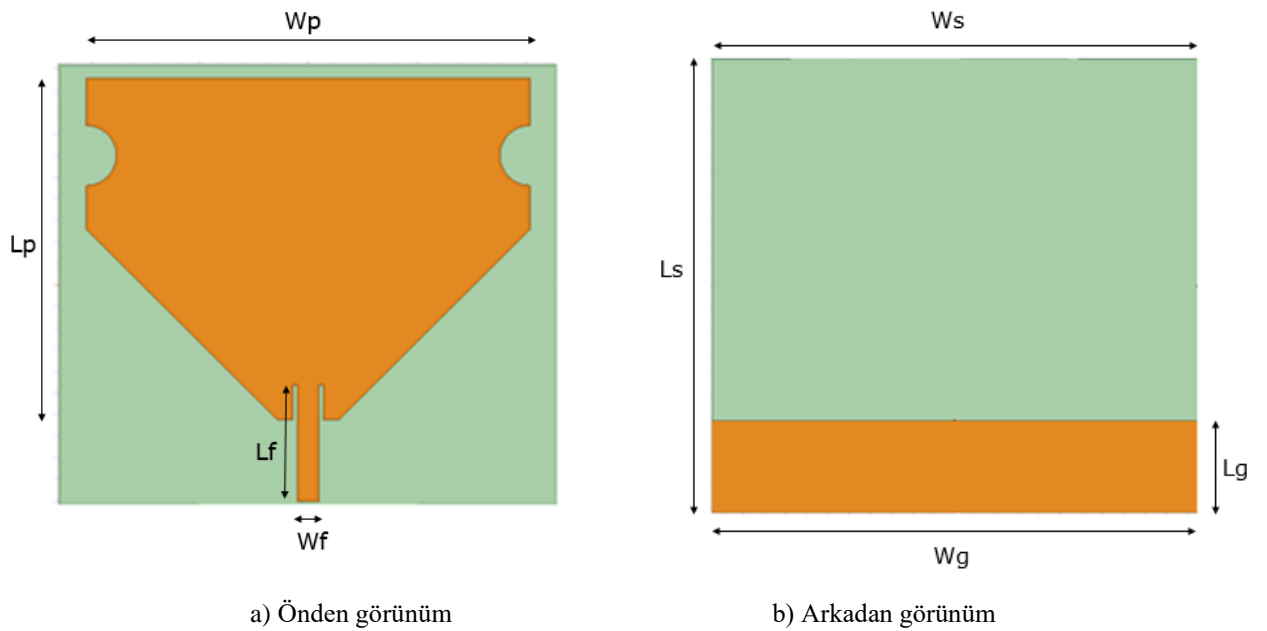
$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (5)$$

Modelleme ve Simülasyon

Bu çalışmada, HFSS (ANSYS) [26] programı kullanılarak yama boyutları $100.7 \text{ mm} \times 78.85 \text{ mm}$ olan ve hat besleme yöntemine sahip bir dikdörtgen mikroşerit anten tasarlanmıştır. Yamanın boyutları, besleme hattı ve diğer parametreler en iyi değeri bulmak için optimize edilerek antenin son tasarımı yapılmıştır. Fakat en iyi sonuçları elde etmek için, yamada alt köşelerden iki üçgen kesilerek, kenarlardan simetrik bir yarım daire açılarak ve toprak yüzeyi azaltılarak tasarımda optimizasyon amaçlı bazı değişiklikler yapılmıştır. HFSS yazılımı desteğiyle tasarlanan antenin önden ve arkadan görünüşleri sırasıyla Şekil 6'da gösterilmiştir. Böylece geri dönüş kaybının iyileştirilmesine, frekans bant genişliğinin artırılmasına ve istenmeyen frekansların ortadan kaldırılmasına yol açmıştır. Ayrıca, anten verimliliği de artmıştır. Tasarlanan antenin parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Tasarlanan dikdörtgen mikroşerit anten parametreleri.

Parametre	Değer
Çalışma Frekansı (f_r)	915 MHz
Dielektrik Sabiti (ϵ_r)	4.3
Yalıtkan Malzeme Kalınlığı (h)	1.55 mm
Yama Genişliği (W_p)	102.414 mm
Yama Uzunluğu (L_p)	79 mm
Besleme Hattının Genişliği (W_f)	5 mm
Besleme Hattının Uzunluğu (L_f)	26.8 mm
Toprak Yüzeyin Genişliği (W_g)	115 mm
Toprak Yüzeyin Uzunluğu (L_g)	20.5 mm
Malzemenin Genişliği (W_s)	115 mm
Malzemenin Uzunluğu (L_s)	102 mm



Şekil 6. HFSS programında tasarlanan dikdörtgen mikroşerit antenin önden ve arkadan görünüşleri.



a) Önden görünüm



b) Arkadan görünüm

Şekil 7. İmal edilen mikroşerit antenin a) önden ve b) arkadan görünümüleri.

Şekil 6'da görüldüğü gibi tasarlanan dikdörtgen mikroşerit anten daha sonra FR4 alt katman malzemesi kullanılarak Şekil 7'de görüldüğü gibi imal edilmiştir.

Ölçüm Cihazı

Bu çalışmada, Şekil 8'de görüldüğü gibi Anritsu MS2028C vektör network analizör cihazı aracılığıyla mikroşerit antenin ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 8. Anritsu MS2028C vektör network analizör cihazı.

Bulgular ve Tartışma

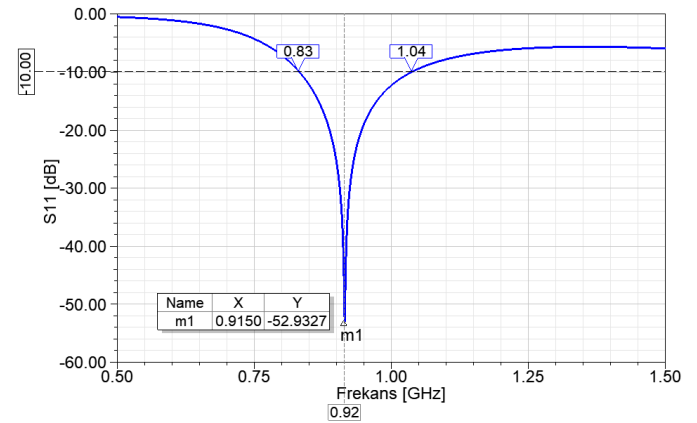
Bu çalışmada, HFSS programı ile 915 MHz taşıyıcı frekansında çalışan bir mikroşerit anten tasarlanmıştır. Daha sonra tasarlanan anten, düşük profilli FR4 alt katmanı üzerinde imal edilmiştir. Son aşamada vektör network

analizör cihazı ile mikroşerit antenin ölçümleri yapılmış ve simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Simülasyon Sonuçları:

Geri Dönüş Kaybı (S_{11})

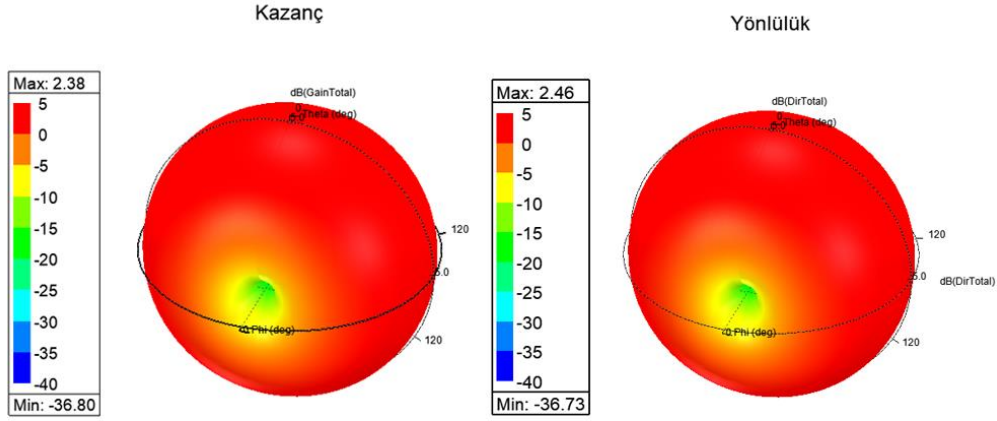
Tasarlanan mikroşerit antenin geri dönüş kaybı (S_{11}) Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi 915 MHz çalışma frekansı ve 210 MHz bant genişliği ile -52,93 dB'lik iyi bir geri dönüş kaybı elde edilmiştir.



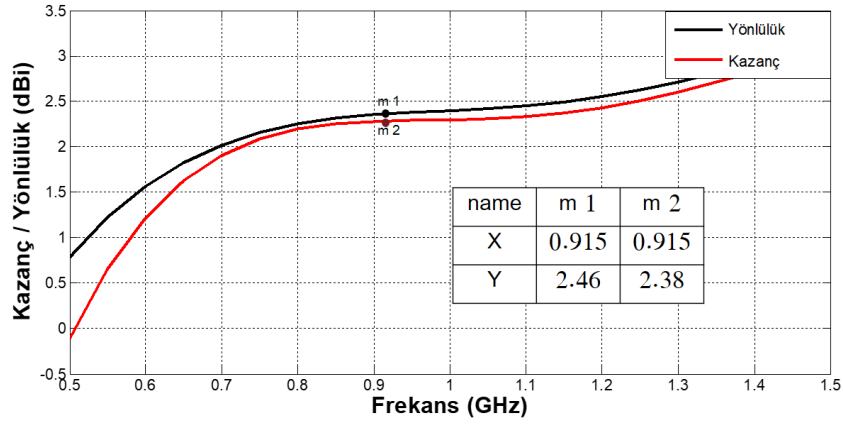
Şekil 9. Mikroşerit antenin geri dönüş kaybı.

Kazanç ve Yönlülük

Anten kazanç ve yönlülük grafiği Şekil 10'da sunulmuştur. Üç boyutlu şekilde görüldüğü gibi, kazanç yaklaşık 2.38 dB'dir. Kazanç ve yönlülük eğrisi ise Şekil 11'de gösterilmiştir.



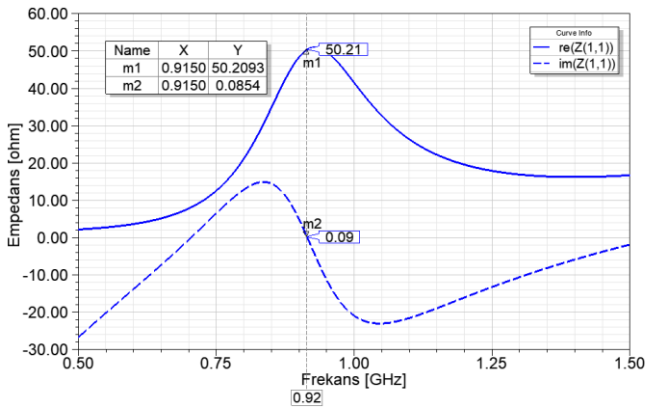
Şekil 10. Mikroşerit antenin üç boyutlu kazanç ve yönlülük grafiği.



Şekil 11. Mikroşerit antenin kazanç ve yönlülük eğrisi.

Empedans

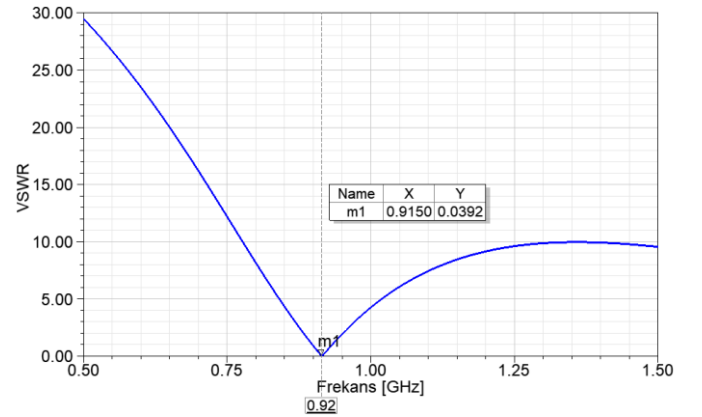
Şekil 12 mikroşerit antenin gerçel ve sanal kısımlarındaki empedans değerlerini göstermektedir. Standart 50Ω göz önünde bulundurulduğunda şekildeki m1 ve m2 değerleri antenin 915 MHz çalışma frekansında yüksek bir giriş empedans uygunluğuna sahip olduğunu göstermektedir. Çünkü gerçel kısmı 50.21Ω 'a eşit olduğu ve sanal kısmın ise sifıra yaklaştığı ve 0.09 'a eşit olduğu görülmektedir.



Şekil 12. Mikroşerit antenin empedans grafiği.

Gerilim Duran Dalga Oranı (VSWR)

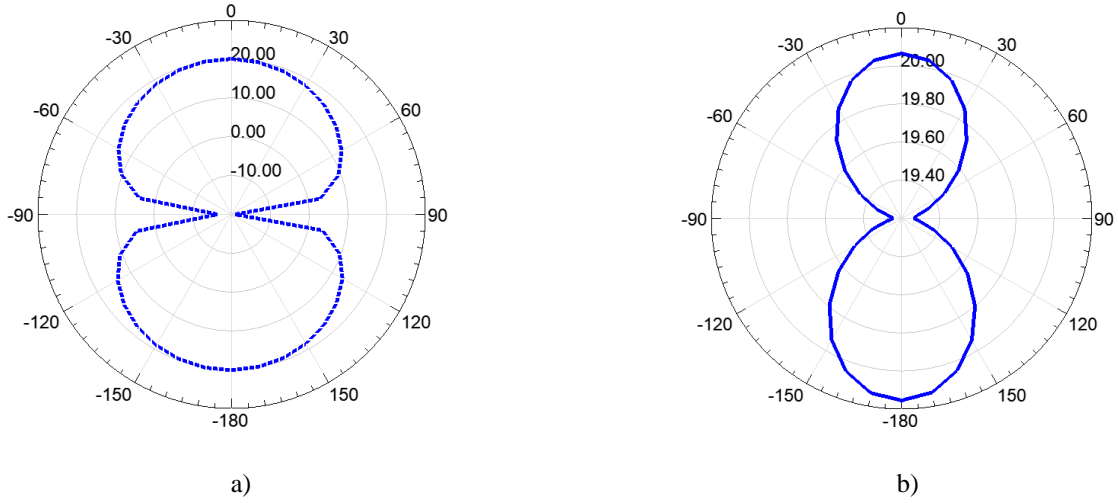
Mikroşerit antenin simülasyon sonucu olarak önemli anten parametrelerinden biri olan VSWR değeri Şekil 13'te gösterilmiştir. Şekilde yer alan m1 değeri 915 MHz taşıyıcı frekansındaki VSWR değerinin yaklaşık olarak 0.04 olduğunu göstermektedir.



Şekil 13. Mikroşerit antenin VSWR grafiği.

Işıma Örüntüsü

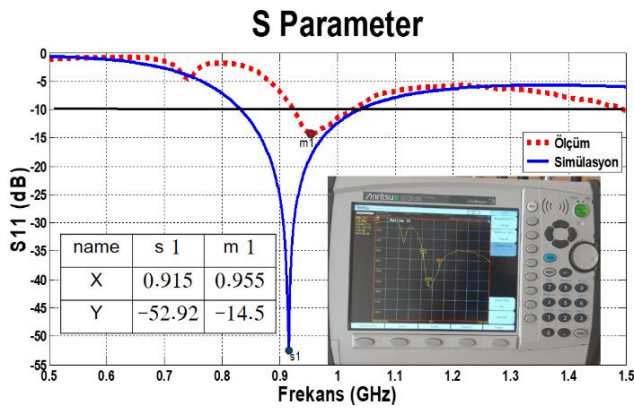
915 MHz frekansında ışınma örüntüsü Şekil 14 (a)'da E düzleminde, Şekil 14 (b)'de ise H düzleminde gösterilmiştir.



Şekil 14. Antenin ışınma örüntüsü: a) 2D E- düzlemi, b) 2D H- düzlemi.

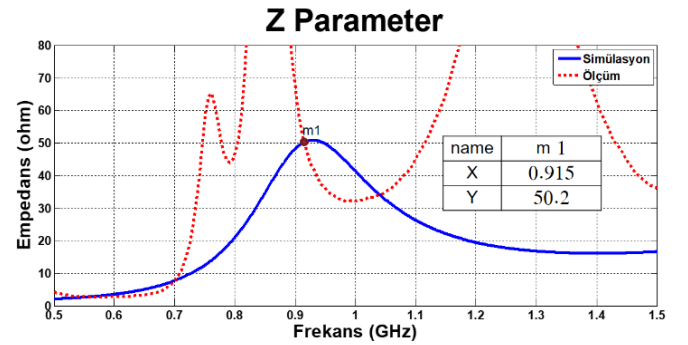
Ölçümlerin Simülasyonla Karşılaştırılması:

Bu çalışmada, vektör network analizör cihazı ile mikroşerit antenin ölçümleri alınmış, daha sonra simülasyon sonuçları ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.



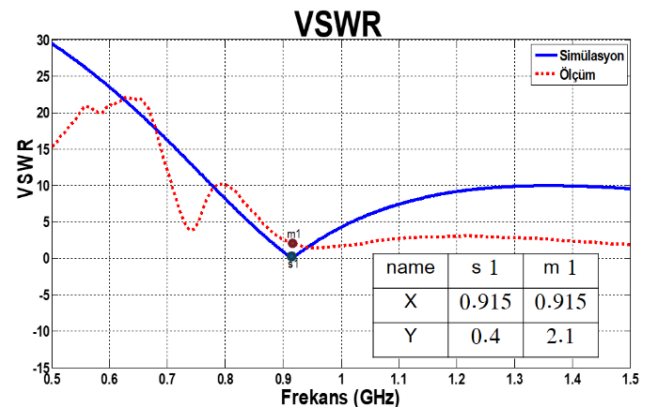
Şekil 15. Antenin simülasyon ve ölçüm geri dönüş kaybı.

Şekil 15'te görüldüğü gibi, m1 değeri ölçülen geri dönüş kaybının en düşük değerini temsil eder ve 955 MHz frekansında -14.5 dB'ye eşit olduğu görülmektedir. Buna karşın s1 değeri simülasyon geri dönüş kaybının en düşük değeridir ve 915 MHz frekansında -52.92 dB'ye eşit olduğu görülmektedir. Diğer bir değişle, ölçülen değer ile geri dönüş kaybının simüle edilen değeri arasında kabul edilebilir bir eşleşme olduğu görülmektedir. Bu fark, kullanılan malzemenin dielektrik sabitindeki küçük değişimin yanı sıra, anten boyutlarındaki küçük hatalar veya basit imalat hataları gibi çeşitli nedenlerden kaynaklanabilmektedir.



Şekil 16. Antenin simülasyon ve ölçüm empedans grafiği.

Şekil 16'da görüldüğü gibi, ölçülen ile simüle edilen empedans değerleri arasında büyük bir eşleşme olduğu ve 915 MHz frekansında empedansın 50.2 Ω 'a eşit olduğu görülmektedir.



Şekil 17. Antenin simülasyon ve ölçüm VSWR grafiği.

VSWR değerinin simülasyon ve ölçüm sonuçları Şekil 17'de aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekilde yer alan $s_1=0.4$ ve $m_1=2.1$ değerleri simüle edilen ve ölçülen 915 MHz'deki VSWR değerleridir.

Simülasyonu yapılan anten daha sonra imal edildiğinde simülasyon ile imal edilen antenin birçok parametreleri arasında küçük farklılıklar gözlemlenmektedir. Bu farklılıklar genellikle imalattan kaynaklanmaktadır.

Şekil 7'de görüldüğü üzere 915 MHz taşıyıcı frekansında imal edilen mikroşerit anten Powercast firmasının ürettiği P1110-EVB, P2110-EVB, P21XXCSR-EVB RF enerji hasatlama devrelerinde veya daha farklı firmaların aynı frekanstaki RF enerji hasatlama devrelerinde başarılı bir şekilde kullanılabilir.

Sonuçlar

Bu çalışmada, RF enerji hasatlama devreleri için bir mikroşerit yama anten tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Bu anten, ilk olarak yamanın boyutlarının hesaplanması süreci ile başlamış ve daha birçok adım uygulanarak mikroşerit anten tasarlanmıştır. Daha sonra boyutları tüm detayları ile hesaplanan antenin HFSS programı yardımıyla simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bant genişliğini artırmak ve istenmeyen frekansları ortadan kaldırmak için toprak katmanı azaltılarak ve yamanın alt köşelerinden ve kenarlarından kesimler yapılarak antenin ışıma özellikleri optimize edilmiştir. Nihayet mikroşerit anten 915 MHz rezonans frekansında, dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4.3$ olan cam epoksi FR4 malzemesi kullanılarak imal edilmiştir.

Tasarlanan, optimize edilen ve daha sonra imal edilen mikroşerit antenin geri dönüş kaybı, empedans ve VSWR gibi değerleri dikkate alındığında simülasyon ve ölçüm sonuçları arasında yüksek bir uyum olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, üretilen mikroşerit antenin 915 MHz taşıyıcı frekansında çalışan RF enerji hasatlama devreleri için uygun ve kullanışlı bir anten olduğu tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] H. J. Visser and R. Vullers, "RF Energy Harvesting and Transport for Wireless Sensor Network Applications: Principles and Requirements," *Proceedings of the IEEE*, pp. 1410 - 1423, 2013.
- [2] A. Takacs, A. Okba, H. Aubert ve S. Charlot, «Recent Advances in Electromagnetic Energy Harvesting and Wireless Power Transfer for IoT and SHM Applications,» *IEEE International Workshop of Electronics*, pp. 1-4, 2017.
- [3] H. Reinisch, S. Gruber, H. Unterassinger, W. Pribyl ve G. Holweg, «An Electro-Magnetic Energy Harvesting System With 190 nW Idle Mode Power Consumption for a BAW Based Wireless Sensor Node,» *IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS*, cilt 46, no. 7, pp. 1728-1741, 2011.
- [4] S. Y. Liao, "Measurements and Computations of Electric Field Intensity and Power Density," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, pp. 53 - 57, 1977.
- [5] W. M. D. R. Gunathilaka, H. G. C. P. Dinesh, G. G. C. M. Gunasekara, K. M. M. W. N. B. Narampanawe and J. V. Wijayakulasooriya, "Ambient Radio Frequency energy harvesting," *2012 IEEE 7th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)*, pp. 1-5, 2012.
- [6] A. Belen and M. A. Belen, "GSM ve ISM bandi RF Enerji Hasatlama Sistemleri için Tek Katli Doğrultucu Devre Tasarımı," *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, p. 359 – 365, 2021.
- [7] N. Saranya and T. Kesavamurthy, "Design and performance analysis of broadband rectenna for an efficient RF energy harvesting application," *International Journal of Rf and Microwave Computer-Aided Engineering*, pp. 1-12, 2019.
- [8] M. Cansız, D. Altinel ve G. K. Kurt, «Efficiency in RF energy harvesting systems: A comprehensive review,» *Energy*, cilt 174, pp. 292-309, 2019.
- [9] R. Q. Lee and K. F. Lee, "Experimental study of the two-layer electromagnetically coupled rectangular patch antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 38, no. 8, pp. 1298 - 1302, 1990.
- [10] D. G. Fang, "Antenna Theory and Microstrip Antennas," *Taylor & Francis Group*, 2010.
- [11] İ. Ataş, "Yüksek Kazançlı Mikroşerit Antenlerin HFSS ile Modellenmesi ve Tasarımı," *İnönü Üniversitesi Doktora Tezi*, 2019.
- [12] A. Derneryd, "A theoretical investigation of the rectangular microstrip antenna element," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 26, no. 4, pp. 532 - 535, 1978.
- [13] M. Malkomes, "Mutual coupling between microstrip patch antennas," *Electronics Letters*, vol. 18, no. 12, pp. 520-522, 1982.
- [14] A. F. Alsager, «Design and Analysis of Microstrip Patch Antenna Arrays,» *Master in Electrical Engineering– Communication and Signal processing*, 2011.
- [15] H. Yang, "Printed straight F antennas for WLAN and Bluetooth," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 918-921, 2003.
- [16] M. Karaboikis, C. Soras, G. Tsachtsiris and V.

- Makios, "Compact Dual-Printed Inverted-F Antenna Diversity Systems for Portable Wireless Devices," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, pp. 9-14, 2004.
- [17] E. Çetme, «Yarıklı mikroşerit yama anten dizaynı,» *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı*, pp. 1-63, 2009.
- [18] M. Hayouni, F. Choubani, M. Denden, T. H. Vuong and J. David, "A Novel Compact Ultra-wideband Rectangular Shaped Antenna," *Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings*, pp. 381-385, 2011.
- [19] J. Endri, I. Setiawan, A. Taqwa, N. F. Husni and C. R. Sitompul, "Design a Microstrip Antenna 2 Elements for 900 Mhz GSM System," *Journal of Physics: Conference Series*, pp. 1-10, 2019.
- [20] H. Werfelli, K. Tayari, M. Chaoui ve H. Ghariani, «Design of Rectangular Microstrip Patch Antenna,» *ATSIP*, pp. 21-24, 2016.
- [21] Chandan and B. S. Rai , "Bandwidth Enhancement of Wang Shape Microstrip Patch Antenna for Wireless System," *2014 Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, pp. 11-15, 2014.
- [22] M. C. Tang, T. Shi and R. W. Ziolkowski, "Planar Ultra-Wideband Antennas with Improved Realized Gain Performance," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 64, no. 1, pp. 61 - 69, 2016.
- [23] C. A. Balanis, «Antenna Theory: Analysis and Design,» *3rd ed.*, 2005.
- [24] Y. Huang ve K. Boyle, «Antennas: From Theory to Practice,» 2008.
- [25] R. Gang, P. Bhartia, I. Bahl ve A. Ittipiboon, «Microstrip Antenna Design Handbook,» 2001.
- [26] Ansys HFSS, Ansys Corporation. Canonsburg, PA, USA,» 2014.



Electronic Behavior and Optical Properties of New Ferromagnetic Silver-Based Sulfo-spinel: AgV_2S_4

Buğra YILDIZ^{1*}, Aytaç ERKİŞİ²

¹ Hacettepe University, Physics Engineering Department, bugrayildiz@hacettepe.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-0080-7096

² Pamukkale University, Department of Physics, aerkisi@pau.edu.tr, Orcid No: 0000-0001-7995-7590

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 July 2022
Received in revised form 29 August 2022
Accepted 30 August 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

half-metallic, *ab initio* calculations, electronic band structure, sulfo-spinel, density functional theory.

Doi: 10.24012/dumf.1147619

* Corresponding author

ABSTRACT

This study reports the intriguing properties of a novel ternary silver-based sulfo-spinel vanadium system (AgV_2S_4) having a face centered cubic structure (FCC). The magnetic nature, electronic behavior and optical properties of this system are revealed. The calculations were performed with spin-effect and by using generalized gradient approximation (GGA) under Density Functional Theory (DFT). After obtaining the optimized Wyckoff positions for the atoms in the crystal structure of this composition, it was decided that this spinel material has ferromagnetic nature in view of the energy-volume curves obtained for three different magnetic phases and of the calculated cohesive energies. Furthermore, the spin-polarized electronic band structure with the orbital projected density of electronic states was calculated within the first principles to investigate its behavior and bonding characteristic in detail. The observed small band gap in the minority spin channel is $E_g = 0.41$ eV, so its electronic band structure implies that this system has half-metallic character. Finally, to evaluate some optical features, frequency-dependent complex dielectric functions were calculated. Then, some optical properties were investigated by using the real and imaginary parts of the dielectric function.

Introduction

Chalco-spinels, has face centered cubic structure with 14 atoms in primitive cell and conform 227 space number with $Fd\bar{3}m$ space group and the base are usually chosen from transition metals [1-3]. They have attracted a lot of attention since they have been practiced in several applications thanks to their semiconductor or half-metallic behavior and due to their high absorbency [4, 5]. So far, they have been used in many varieties of applications such as; magneto- and electro-optics, biomedical, spin-based electronic devices, data storage applications and magnetic refrigeration applications [6-10]. Although, there are many theoretical and experimental studies about this type of chalco-spinels, many of them still waiting for to be discovered [11-18]. Among them, chromium chalco-spinels are one of the most studied compounds. It has intriguing electronic and magnetic features such as magnetic resistivity [19], semiconducting nature [20, 21] and magnetocapacitance [22, 23].

Another widely studied compounds in this family due to its electronic and optical properties are AB_2S_4 types ternary sulfo-spinels. Especially, refrigerant ability and magnetic capacitance of CdCr_2S_4 is one of the main focuses of experimental studies [24-26]. Even though similar materials

have studied extensively, the electronic, magnetic and optical feature of AgV_2S_4 is not broadly researched, as far as we know from the literature. For the mentioned reason, this study is very important and could shed light on future theoretical and experimental studies.

This study presents the ferromagnetic nature, half-metallicity and optical aspects of silver-based vanadium sulfo-spinel (AgV_2S_4) system discovered by *DFT* calculations by using the VASP package. In the presented computational study, the magnetic nature of this spinel system has been understood to be ferromagnetic and then spin-dependent electronic band structure has been investigated to collect information about its electronic behavior in ferromagnetic order. Also, some optical properties of this silver-based sulfo-spinel system has been investigated and complex dielectric function, refractive index, extinction coefficient, absorption coefficient, and loss function have been computed. The material could be a good candidate for photovoltaic applications due to its high absorbency and the spin-down band gap in its electronic band structure.

Computational details

In order to understand electronic, magnetic and optical properties of this sulfo-spinel system, VASP (Vienna Ab-initio Simulation Package) [27-28] has been employed under the DFT (Density Functional Theory). Throughout the process, Kohn-Sham equations [29] were solved iteratively until all the forces and pressures on each atom become zero and PBE (Perdew-Burke-Ernzerhof) type correlation functionals were considered within the GGA (Generalized Gradient Approximations) [30]. Also, the PAW (projector-augmented) method [31] has been used to describe interactions between the ion cores and electrons. Valance electron configurations are $5s^14d^10$, $3p^63d^44s^1$ and $3s^23p^4$ for Ag, V and S atoms respectively.

In addition, $10 \times 10 \times 10$ MP (Monkhorst and Pack) scheme k-point mesh has been used and it has created 110 k-points in the Brillouin zone [32]. The cut off energy has been selected as 700 eV. Methfessel-Paxton type smearing method has been considered and 0.01 eV smearing parameter has been chosen. Relaxation processes continued until the minimum force on each atom reach 10^{-8} eV/Å and 10^{-9} eV iteration steps has been employed. Furthermore, optical properties of the sulfo-spinel vanadium system (AgV_2S_4) have been investigated with the calculated complex dielectric function.

Results and discussion

In this theoretical work, firstly, the primitive cell of the silver-based vanadium sulfo-spinel AgV_2S_4 was properly optimized by placing the ions in the most appropriate Wyckoff positions of the cell. Thus, optimized structural parameters were achieved with high accuracy. The primitive lattice of this system consists of 14 atoms and it has face centered cubic structure with 227 space number and conforms $Fd\bar{3}m$ space group. For the optimized crystal, the Wyckoff positions of two silver (Ag) atoms, four vanadium (V) atoms and eight sulphur (S) atoms were 16d (0.5, 0.5, 0.5), 8a (0.125, 0.125, 0.125) and 32e (0.362, 0.362, 0.362) respectively. Also, three-dimensional crystallographic shape of the mentioned material is presented in Figure 1.

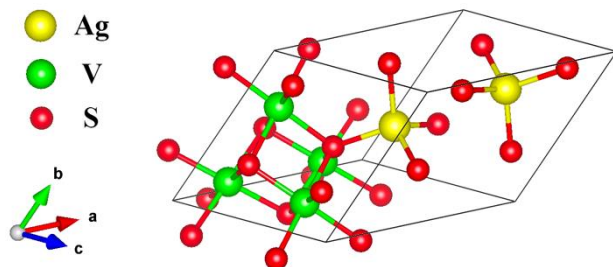


Figure 1. Three-dimensional crystal structure of AgV_2S_4 compound. The yellow, green, and red spheres represent silver (Ag), vanadium (V), and sulphur (S) atoms respectively.

The structural properties

To determine the ground state magnetic structure, antiferromagnetic (AFM), ferromagnetic (FM) and paramagnetic (PM) types of magnetic phases have been considered. For the antiferromagnetic phase, the magnetic moments of the vanadium (V) atoms were aligned antiparallel and they yield zero-net magnetization and for the ferromagnetic phase magnetic moments of the atoms are oriented in the same direction. Finally for the paramagnetic phase all the magnetic moments are zero. After that, cohesive energies have been calculated for each magnetic arrangement. The cohesive energy is defined as the energy required to disengage the crystal into free atoms and it could be determined by using the total energy difference between the bulk crystal and isolated free atoms [33] as the equation given below:

$$E_{Coh} = E_{\text{AgV}_2\text{S}_4} - (2E_{\text{Ag}}^{iso} + 4E_{\text{V}}^{iso} + 8E_{\text{S}}^{iso}) \quad (1)$$

where, E_{Ag}^{iso} , E_{V}^{iso} and E_{S}^{iso} are the isolated ground state energies for silver (Ag), vanadium (V) and sulphur (S) atoms, respectively, while $E_{\text{AgV}_2\text{S}_4}$ is the total ground state energy of the primitive cell. According to this definition, the structures with larger negative cohesive energy are more favorable energetically, while the system with positive energy cannot be spontaneously emerged in nature. The calculated cohesive energy values, the lattice parameters and atomic bond lengths are tabulated in Table 1 for this system under consideration. For each magnetic phase considered, the calculated cohesive energies imply that the FM phase is more stable energetically since the value of the cohesive energy of this phase is less than PM and AFM phase. In this respect, the negative value of the calculated cohesive energy indicates that this vanadium sulfo-spinel is thermodynamically stable [34] so it could be synthesized and can be used in some technological applications. The plotted energy-volume graph, which is obtained by using the Vinet equation of states [35], is shown in Figure 2. The energy-volume plot shows that the ground state phases of this system are ferromagnetic with approximately 0.09 eV lower energy than AFM phase for AgV_2S_4 . For the compound, PM phase has higher energies than both FM and AFM phases indicating an unfavorable crystal structure energetically. This result is compatible with the cohesive energy results which are shown at Table 1.

Table 1. The optimized primitive cell lattice parameter (a) and atomic bond lengths (d) for the stable ferromagnetic phase and the calculated cohesive energies (E_{coh}) of silver-based vanadium sulfo-spinel (AgV_2S_4) for ferromagnetic, antiferromagnetic and paramagnetic phases.

Material	a (Å)	d_{Ag-S} (Å)	d_{V-S} (Å)	E_{coh} (eV)
AgV ₂ S ₄	7.206 (FM)	2.444 (FM)	2.419 (FM)	-20.119 (FM)
				-20.030 (AFM)
				-19.637 (PM)

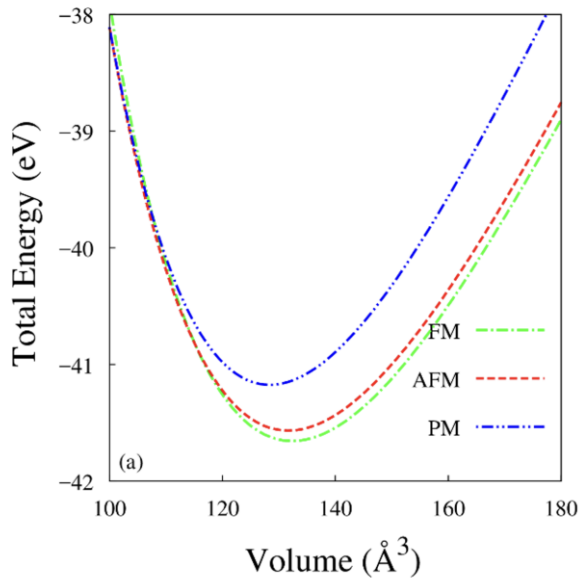


Figure 2. Total energies versus volumes of the primitive cell in ferromagnetic, antiferromagnetic and paramagnetic orders of AgV₂S₄.

As seen in Table 2, considering the computed partial magnetic moments, the predominance of vanadium (V) atoms is clearly noticeable, since the compound has ferromagnetic nature. Also, the fact that the total magnetic moment of this material is relatively large which highlights its ferromagnetic character.

Table 2. The calculated total magnetic moment (μ_{tot}) of the ferromagnetic silver-based sulfo-spinel compound (AgV_2S_4) and the partial magnetic moments (μ_{atom}) of Ag, V and S atoms in this system.

Material	μ_{tot} (μ_B)	μ_{atom} (μ_B)
AgV ₂ S ₄	5.735	$\mu_{Ag} = -0.065$
		$\mu_V = 1.687$
		$\mu_S = -0.111$

The Curie temperature (T_c) is another important parameter to understand behavior of magnetic moments. At this critical temperature, the arrangement of magnetic moments changes drastically, in other words, the magnetic nature of the compound undergoes a phase transition. Curie temperature is especially crucial for ferromagnetic systems and it could be determined from the ground state energies of FM and AFM phases by using mean field approximation [36-39] (MFA) as follows:

$$\frac{3}{2}k_B T_c^{MFA} = E_{AFM} - E_{FM} \quad (2)$$

where k_B is the Boltzman constant. The computed ground state energies for the antiferromagnetic and ferromagnetic phases of this sulfo-spinel and the predicted Curie temperature according to the mean field approximation are given in Table 3.

Table 3. The computed ground state energies for the paramagnetic and ferromagnetic phases for AgV₂S₄ and estimated Curie temperature (T_c in K).

Material	E_{AFM} (eV)	E_{FM} (eV)	T_c^{MFA} (K)
AgV ₂ S ₄	-20.784	-20.829	348

The electronic properties

In order to find out electronic behavior, after ferromagnetic character has been understood, electronic band structure with total (TDOS) and partial density of states (PDOS) were examined under spin effect. The density of states is determined within generalized gradient approximation (GGA) and it is constructed for spin-up and spin-down channels along high-symmetry directions in the Brillouin zone in Figure 3. As clearly seen from the plotted figure, this sulfo-spinel system could be classified as half-metallic material due to having a small band gap ($E_g = 0.41$ eV) in its spin-down channel, while its spin-up channel behaves

like metallic. The observed band gap is a direct one at Γ -point. Moreover, the fact that the band structure drawn for spin up and down channels differ from each other demonstrates that the compound is not paramagnetic. Also, this result is consistent with the previous result.

In order to understand the atomic projection of this half-metallic material [40], the total (TDOS) and the orbital projected partial density of electronic states of atoms (PDOS) are plotted as seen in Figure 4. In the figure, it could be seen that, the hybridizations between the d states of silver (Ag) and vanadium (V) atoms and the $3p$ states of the sulphur (S) around the Fermi energy level (E_F). For AgV_2S_4 system, below and near the Fermi level (E_F), the $3d$ states of vanadium (V) atoms (almost between 0 and -0.5 eV energy range) are dominant and in the valance band the $3p$ states of the sulphur (S) atoms are more effective between 0 and -4 eV. The above the Fermi level is known as conducting band where the d orbitals of the vanadium (V) atoms are dominant. The same dominancy of this state of vanadium (V) atoms stands out around 1.7 eV. Also, there are hybridizations between d orbitals of vanadium (V) atoms and p orbitals of sulphur (S) atoms between 0 and 0.7 eV and between 2.7 eV and 3.7 eV.

It could be seen that around the Fermi level, the main contribution comes from the d orbitals of the vanadium (V) atoms and the p orbital of the sulphur (S) atom. So that the half-metallic character of this spinel system can mainly be attributed to d -orbitals of vanadium (V) atoms and p -orbitals of sulphur (S) atoms. As a result, it could be concluded that the s orbitals of atoms in this material and p orbitals of silver (Ag) and vanadium (V) atoms don't have much effect on the formation and chemical bonding.

The complex dielectric function and optical characteristics

The complex dielectric function, which is among the optical properties of any solid crystal, calculated as a function of frequency with its real (ϵ^{real}) and imaginary (ϵ^{img}) parts. It can provide important information about electronic polarizability and electric charge storage capability. Also, this complex function given by Eq. 3 can determine the optical response of a solid material at all photon energies.

$$\epsilon(\omega) = \epsilon^{real}(\omega) + i\epsilon^{img}(\omega) \quad (3)$$

The imaginary part of the related function describes the ability to absorb light and can be calculated by using the dipole matrix and Fermi distribution for the occupied states in the valance band and the unoccupied states in the conduction band [41, 42] whereas the real part computed from the Kramers-Kronig transformation, is related the electronic polarizability. The equations required to calculate the imaginary part of this function are given in Ref. [43, 44]. In this part of this study, as given in Figures 5a and 5b, the electronic and ionic contributions to the frequency-dependent dielectric function of the material have been computed separately ($\epsilon(\omega) = \epsilon_{elec}(\omega) + \epsilon_{ion}(\omega)$). The electronic contribution [45] to the real and

imaginary parts of the dielectric constant can be calculated with the help of the equation above while the ionic contribution [46] to the dielectric constant can be calculated by density functional perturbation theory (DFPT). As shown in Figure 5a, the real and imaginary parts of the electronic contributions (ϵ_e^{real} and ϵ_e^{img}) to the dielectric function were plotted in the 0-8 eV photon energy range while the ionic contributions (ϵ_i^{real} and ϵ_i^{img}) to the dielectric function were plotted in the 0-68 eV range.

In the plots, it was observed that the real parts of electronic contribution have negativity indicating metallic behavior in the 0.63 - 1.25 eV and 3.77 - 8 eV energy ranges for AgV_2S_4 . The material shows metallic character when the external electric field at frequencies higher than plasma frequency is applied.

Furthermore, some important optical parameters such as refractive index ($n(\omega)$), extinction coefficient ($\kappa(\omega)$), absorption coefficient ($I(\omega)$) and loss function ($L(\omega)$) were computed from given equations in below [47] and plotted in Fig.6;

$$n(\omega) = \sqrt{\frac{\sqrt{\epsilon_r^2(\omega) + \epsilon_i^2(\omega)} + \epsilon_r(\omega)}{2}} \quad (4)$$

$$\kappa(\omega) = \sqrt{\frac{\sqrt{\epsilon_r^2(\omega) + \epsilon_i^2(\omega)} - \epsilon_r(\omega)}{2}} \quad (5)$$

$$I(\omega) = \omega \sqrt{2 \sqrt{\epsilon_r^2(\omega) + \epsilon_i^2(\omega)} - 2\epsilon_r(\omega)} \quad (6)$$

$$L(\omega) = \frac{\epsilon_i(\omega)}{\epsilon_r^2(\omega) + \epsilon_i^2(\omega)} \quad (7)$$

As seen in Figure 6, the static refractive index values ($n(0)$) have been calculated for the case where the frequency is equal to zero within the GGA approximation. For the low energy region refractive index ($n(\omega)$) starts from 3.2 and shows a sudden trend of increase.

The observed maximum peaks are 6.2 around 0.31 eV energy (mid-infrared region) for AgV_2S_4 . In addition, it was observed that the frequency-dependent refractive index values obtained for the high energy region tended to decrease. The value of the extinction coefficient, which is another important optical parameter, calculated depending on the frequency, shows a sharp peak of 5.4 at 0.34 eV.

The absorption capability of the incident photon which has a specific frequency can be determined from the computed absorption coefficient $I(\omega)$. Moreover, this interesting parameter points out whether any material which has a suitable band gap and high absorption coefficient $I(\omega)$ can be used in photovoltaic applications [48]. This compound could be a good candidate for photovoltaic applications due to its high absorbency and the minority band gap in its electronic band structure. Finally, among optical properties,

the loss function gives significant information about the energy loss of fast electrons traversing the compound. The observed maximums in the mentioned spectrums can be related with as plasmon oscillations [49].

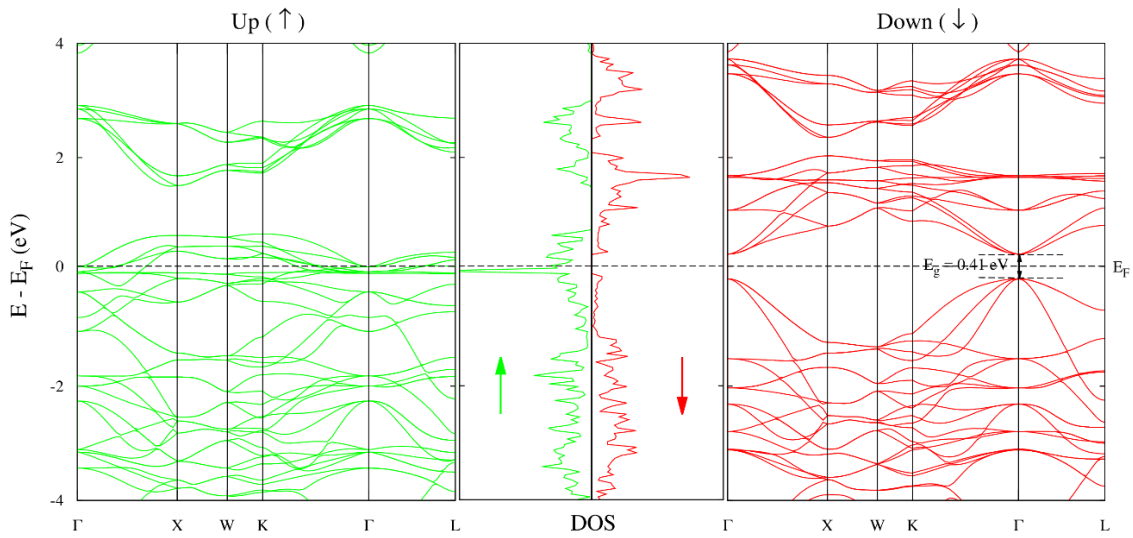


Figure 3. The calculated spin-polarized energy band structure with the total density of electronic states within generalized gradient approximation of sulfo-spinel AgV_2S_4 .

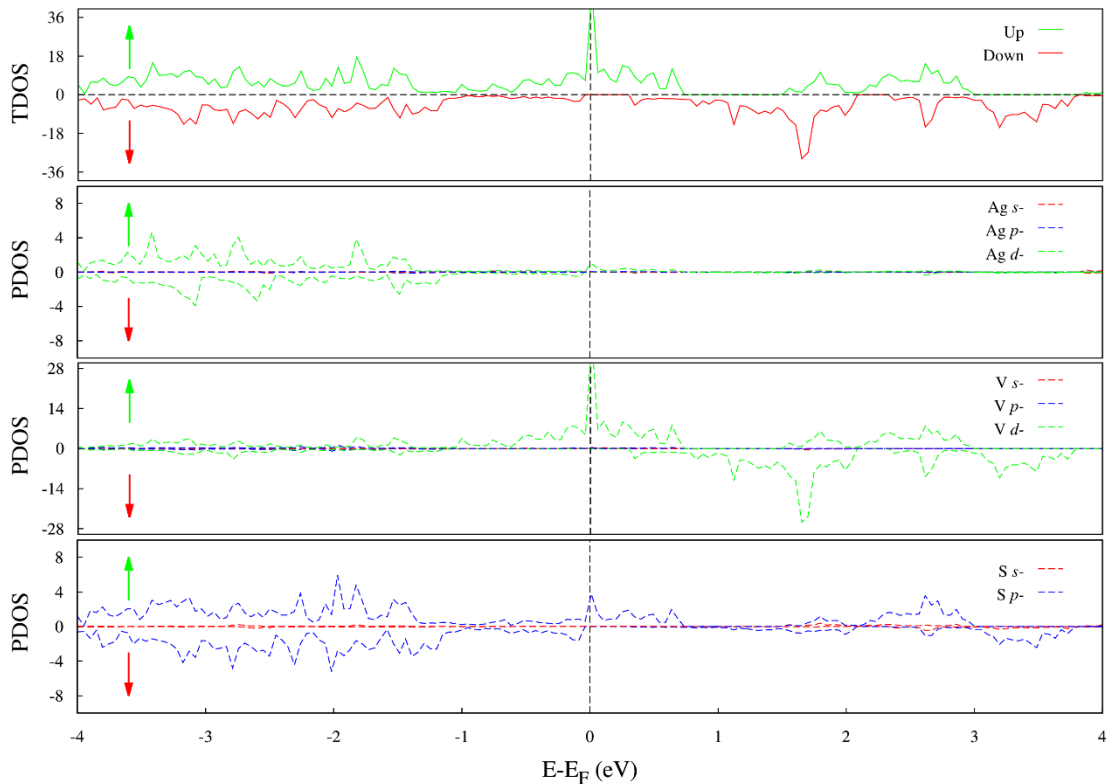


Figure 4. The total (TDOS) and orbital projected partial density of electronic states of atoms (PDOS) within GGA of sulfo-spinel AgV_2S_4 .

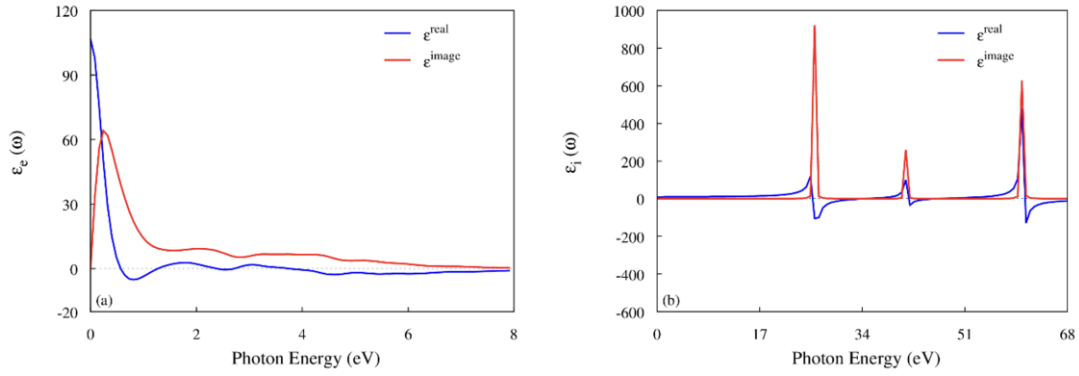


Figure 5. (a) The electronic contribution and (b) ionic contribution to the complex dielectric function of AgV_2S_4 .

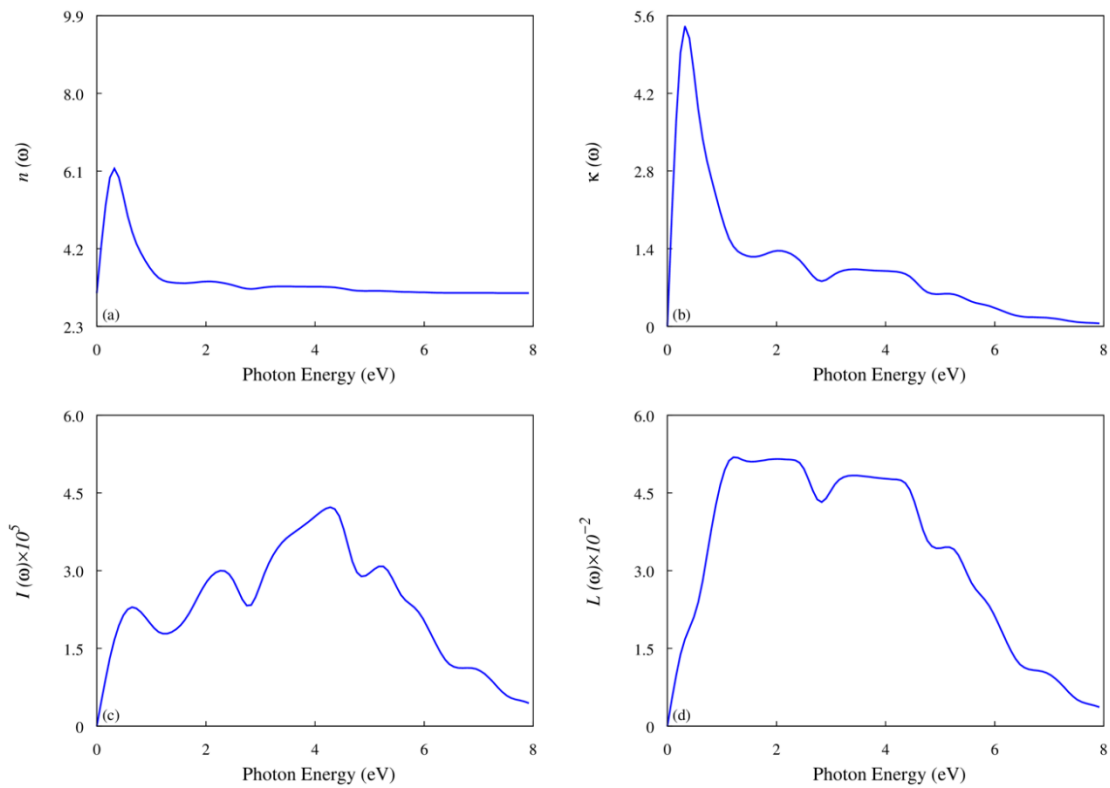


Figure 6. Spectra of (a) refractive index ($n(\omega)$), (b) extinction coefficient ($\kappa(\omega)$), (c) absorption coefficient ($I(\omega)$) and (d) loss function ($L(\omega)$) of AgV_2S_4 sulfo-spinel.

Conclusion

In this theoretical research, in order to reveal the electronic behavior, magnetic nature and optical properties, comprehensive *DFT* calculations have been performed for ternary silver-based vanadium (AgV_2S_4) sulfo-spinel. It has been optimized in face centered cubic structure which conforms 227 space number with $Fd\bar{3}m$ space group. The most stable phase for this material is ferromagnetic phase since it has ground state energy. This result is also confirmed by the calculated cohesive energies. Considering

the calculated electronic band structure, the electronic character of this sulfo-spinel system is half-metallic due to a narrow band gap of $E_g = 0.41$ eV in its spin-down channel, while spin-up channel exhibit metallic behavior. With this half-metallic property, the material can be a good candidate for spintronic applications. Furthermore, the investigated optical properties show that the mentioned sulfo-spinel can promise to be used in photovoltaic applications due to their high absorbency and the spin-down band gap in its electronic band structure.

Ethics committee approval and conflict of interest statement

"There is no need to obtain permission from the ethics committee for the article prepared"

"There is no conflict of interest with any person / institution in the article prepared"

Authors' Contributions

-Study conception and design: Yıldız, Erkişi

-Acquisition of data: Erkişi

-Analysis and interpretation of data: Yıldız

-Drafting of manuscript: Yıldız, Erkişi

-Critical revision: Yıldız, Erkişi

Acknowledgement

This research was supported in part by TÜBİTAK (The Scientific & Technological Research Council of Turkey) through TR-Grid e-Infrastructure Project, part of the calculations has been carried out at ULAKBİM Computer Center.

References

- [1] I. Efthimiopoulos *et al.*, "Structural transition in the magnetoelectric spinel under pressure," *Phys. Rev. B*, vol. 93, no. 17, p. 174103, May 2016, doi: 10.1103/PhysRevB.93.174103.
- [2] C. J. Fennie and K. M. Rabe, "Polar phonons and intrinsic dielectric response of the ferromagnetic insulating spinel CdCr₂S₄" *Phys. Rev. B*, vol. 72, no. 21, p. 214123, Dec. 2005, doi: 10.1103/PhysRevB.72.214123.
- [3] H. Sims, K. Ramasamy, W. H. Butler, and A. Gupta, "Electronic structure of magnetic semiconductor CdCr₂Te₄: A possible spin-dependent symmetry filter," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 103, no. 19, p. 192402, Nov. 2013, doi: 10.1063/1.4827818.
- [4] A. Erkişi, "Ab Initio Study on Electronic and Elastic Properties of AgCr₂S₄," *Acta Phys. Pol. A*, vol. 140, no. 3, pp. 243–251, Sep. 2021, doi: 10.12693/APhysPolA.140.243.
- [5] A. Erkişi, B. Yildiz, X. Wang, M. Isik, Y. Ozcan, and G. Surucu, "The investigation of electronic nature and mechanical properties under spin effects for new half-metallic ferromagnetic chalcogenides Ag₃CrX₄ (X = S, Se, and Te)," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 519, p. 167482, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.jmmm.2020.167482.
- [6] R. F. Ziolo *et al.*, "Matrix-Mediated Synthesis of Nanocrystalline γ -Fe₂O₃: A New Optically Transparent Magnetic Material," *Science (80-.)*, vol. 257, no. 5067, pp. 219–223, Jul. 1992, doi: 10.1126/science.257.5067.219.
- [7] S. Sun, C. B. Murray, D. Weller, L. Folks, and A. Moser, "Monodisperse FePt Nanoparticles and Ferromagnetic FePt Nanocrystal Superlattices," *Science (80-.)*, vol. 287, no. 5460, pp. 1989–1992, Mar. 2000, doi: 10.1126/science.287.5460.1989.
- [8] D. Yoo, H. Jeong, S.-H. Noh, J.-H. Lee, and J. Cheon, "Magnetically Triggered Dual Functional Nanoparticles for Resistance-Free Apoptotic Hyperthermia," *Angew. Chemie Int. Ed.*, vol. 52, no. 49, pp. 13047–13051, Dec. 2013, doi: 10.1002/anie.201306557.
- [9] H. Zeng, J. Li, J. P. Liu, Z. L. Wang, and S. Sun, "Exchange-coupled nanocomposite magnets by nanoparticle self-assembly," *Nature*, vol. 420, no. 6914, pp. 395–398, Nov. 2002, doi: 10.1038/nature01208.
- [10] R. Hao, R. Xing, Z. Xu, Y. Hou, S. Gao, and S. Sun, "Synthesis, Functionalization, and Biomedical Applications of Multifunctional Magnetic Nanoparticles," *Adv. Mater.*, vol. 22, no. 25, pp. 2729–2742, Jul. 2010, doi: 10.1002/adma.201000260.
- [11] A. S. Cameron *et al.*, "Magnetic phase diagram of the helimagnetic spinel compound ZnCr₂Se₄ revisited by small-angle neutron scattering," *J. Phys. Condens. Matter*, vol. 28, no. 14, p. 146001, Apr. 2016, doi: 10.1088/0953-8984/28/14/146001.
- [12] N. Menyuk, K. Dwight, R. J. Arnott, and A. Wold, "Ferromagnetism in CdCr₂Se₄ and CdCr₂S₄," *J. Appl. Phys.*, vol. 37, no. 3, pp. 1387–1388, Mar. 1966, doi: 10.1063/1.1708484.
- [13] M. Tachibana, N. Taira, and H. Kawaji, "Heat capacity and thermal expansion of CdCr₂Se₄ and CdCr₂S₄," *Solid State Commun.*, vol. 151, no. 23, pp. 1776–1779, Dec. 2011, doi: 10.1016/j.ssc.2011.08.029.
- [14] S. Kitani, M. Tachibana, and H. Kawaji, "Spin-glass-like behavior in ferromagnetic phase of CdCr₂S₄," *Solid State Commun.*, vol. 179, pp. 16–19, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.ssc.2013.06.004.
- [15] K. Ramasamy, D. Mazumdar, R. D. Bennett, and A. Gupta, "Syntheses and magnetic properties of

- Cr₂Te₃ and CuCr₂Te₄ nanocrystals,” *Chem. Commun.*, vol. 48, no. 45, p. 5656, 2012, doi: 10.1039/c2cc32021e.
- [16] T. Kanomata, H. Ido, and T. Kaneko, “Effect of Pressure on Curie Temperature of Calcogenide Spinels CuCr₂X₄ (X=S, Se and Te),” *J. Phys. Soc. Japan*, vol. 29, no. 2, pp. 332–335, Aug. 1970, doi: 10.1143/JPSJ.29.332.
- [17] T. Suzuyama *et al.*, “Ferromagnetic-phase transition in the spinel-type CuCr₂Te₄,” *J. Solid State Chem.*, vol. 179, no. 1, pp. 140–144, Jan. 2006, doi: 10.1016/j.jssc.2005.10.007.
- [18] R. Li, C. Zhang, and Y. Zhang, “Critical properties of the 3D-Heisenberg ferromagnet CuCr₂Te₄,” *Solid State Commun.*, vol. 152, no. 3, pp. 173–176, Feb. 2012, doi: 10.1016/j.ssc.2011.11.014.
- [19] H. W. Lehmann and M. Robbins, “Electrical Transport Properties of the Insulating Ferromagnetic Spinels CdCr₂S₄ and CdCr₂Se₄,” *J. Appl. Phys.*, vol. 37, no. 3, pp. 1389–1390, Mar. 1966, doi: 10.1063/1.1708485.
- [20] P. K. Baltzer, H. W. Lehmann, and M. Robbins, “Insulating Ferromagnetic Spinels,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 15, no. 11, pp. 493–495, Sep. 1965, doi: 10.1103/PhysRevLett.15.493.
- [21] K. G. Nikiforov, “Magnetically ordered multinary semiconductors,” *Prog. Cryst. Growth Charact. Mater.*, vol. 39, no. 1–4, pp. 1–104, Jan. 1999, doi: 10.1016/S0960-8974(99)00016-9.
- [22] J. Hemberger, P. Lunkenheimer, R. Fichtl, H.-A. Krug von Nidda, V. Tsurkan, and A. Loidl, “Relaxor ferroelectricity and colossal magnetocapacitive coupling in ferromagnetic CdCr₂S₄,” *Nature*, vol. 434, no. 7031, pp. 364–367, Mar. 2005, doi: 10.1038/nature03348.
- [23] S. Weber, P. Lunkenheimer, R. Fichtl, J. Hemberger, V. Tsurkan, and A. Loidl, “Colossal Magnetocapacitance and Colossal Magnetoresistance in HgCr₂S₄,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 96, no. 15, p. 157202, Apr. 2006, doi: 10.1103/PhysRevLett.96.157202.
- [24] V. Tsurkan, D. Ehlers, V. Felea, H.-A. Krug von Nidda, and A. Loidl, “Critical magnetic behavior of ferromagnetic CdCr₂S₄,” *Phys. Rev. B*, vol. 88, no. 14, p. 144417, Oct. 2013, doi: 10.1103/PhysRevB.88.144417.
- [25] L. Q. Yan *et al.*, “Large magnetocaloric effect in spinel CdCr₂S₄,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 90, no. 26, p. 262502, Jun. 2007, doi: 10.1063/1.2751576.
- [26] C. P. Sun *et al.*, “Colossal electroresistance and colossal magnetoresistance in spinel multiferroic CdCr₂S₄,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 96, no. 12, p. 122109, Mar. 2010, doi: 10.1063/1.3368123.
- [27] G. Kresse and J. Hafner, “Ab initio molecular dynamics for liquid metals,” *Phys. Rev. B*, vol. 47, no. 1, pp. 558–561, Jan. 1993, doi: 10.1103/PhysRevB.47.558.
- [28] G. Kresse and J. Furthmüller, “Efficiency of ab-initio total energy calculations for metals and semiconductors using a plane-wave basis set,” *Comput. Mater. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 15–50, Jul. 1996, doi: 10.1016/0927-0256(96)00008-0.
- [29] P. Hohenberg and W. Kohn, “Inhomogeneous Electron Gas,” *Phys. Rev.*, vol. 136, no. 3B, pp. B864–B871, Nov. 1964, doi: 10.1103/PhysRev.136.B864.
- [30] J. P. Perdew, K. Burke, and M. Ernzerhof, “Generalized Gradient Approximation Made Simple [Phys. Rev. Lett. 77, 3865 (1996)],” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 78, no. 7, pp. 1396–1396, Feb. 1997, doi: 10.1103/PhysRevLett.78.1396.
- [31] P. E. Blöchl, “Projector augmented-wave method,” *Phys. Rev. B*, vol. 50, no. 24, pp. 17953–17979, Dec. 1994, doi: 10.1103/PhysRevB.50.17953.
- [32] H. J. Monkhorst and J. D. Pack, “Special points for Brillouin-zone integrations,” *Phys. Rev. B*, vol. 13, no. 12, pp. 5188–5192, Jun. 1976, doi: 10.1103/PhysRevB.13.5188.
- [33] Parrill and Lipkowitz, *Reviews in Computational Chemistry*. Wiley, 2016.
- [34] S. A. Khandy, I. Islam, D. C. Gupta, R. Khenata, and A. Laref, “Lattice dynamics, mechanical stability and electronic structure of Fe-based Heusler semiconductors,” *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, p. 1475, Dec. 2019, doi: 10.1038/s41598-018-37740-y.
- [35] P. Vinet, J. H. Rose, J. Ferrante, and J. R. Smith, “Universal features of the equation of state of solids,” *J. Phys. Condens. Matter*, vol. 1, no. 11, pp. 1941–1963, Mar. 1989, doi: 10.1088/0953-8984/1/11/002.

- [36] K. Sato, P. H. Dederichs, H. Katayama-Yoshida, and J. Kudrnovský, "Exchange interactions in diluted magnetic semiconductors," *J. Phys. Condens. Matter*, vol. 16, no. 48, pp. S5491–S5497, Dec. 2004, doi: 10.1088/0953-8984/16/48/003.
- [37] M. Rostami, M. Afshari, and M. Moradi, "Bulk and surface half-metallicity of CsS in CsCl structure: A density functional theory study," *J. Alloys Compd.*, vol. 575, pp. 301–308, Oct. 2013, doi: 10.1016/j.jallcom.2013.05.171.
- [38] A. Erkisi and G. Surucu, "The investigation of electronic, magnetic, mechanical, and lattice dynamical properties of Pd MX (M = Cr, Fe and X = Si and Ge) ferromagnetic half-Heusler metallics: an ab initio study," *Mater. Res. Express*, vol. 4, no. 6, p. 066504, Jun. 2017, doi: 10.1088/2053-1591/aa730e.
- [39] A. Erkişi. "Magnetic orders and electronic behaviours of new chalcogenides Cu₃MnCh₄ (Ch = S, Se and Te): An ab initio study." *Philos. Mag.*, vol. 99, no. 15, pp. 1941–1955, Aug. 2019, doi: 10.1080/14786435.2019.1605221.
- [40] A. Erkisi and G. Surucu, "The electronic and elasticity properties of new half-metallic chalcogenides," *Philos. Mag.*, vol. 99, no. 4, pp. 513–529, Feb. 2019, doi: 10.1080/14786435.2018.1546960.
- [41] N. V. Smith, "Photoelectron Energy Spectra and the Band Structures of the Noble Metals," *Phys. Rev. B*, vol. 3, no. 6, pp. 1862–1878, Mar. 1971, doi: 10.1103/PhysRevB.3.1862.
- [42] C. Ambrosch-Draxl and J. O. Sofo, "Linear optical properties of solids within the full-potential linearized augmented planewave method," *Comput. Phys. Commun.*, vol. 175, no. 1, pp. 1–14, Jul. 2006, doi: 10.1016/j.cpc.2006.03.005.
- [43] G. Surucu, K. Colakoglu, E. Deligoz, N. Korozlu, and Y. O. Ciftci, "The electronic and optical properties of mixed alloys," *Solid State Commun.*, vol. 150, no. 29–30, pp. 1413–1418, Aug. 2010, doi: 10.1016/j.ssc.2010.04.026.
- [44] F. M., *Optical Properties of Solids*, Oxford University Press, New York, NY. 2001.
- [45] M. Gajdoš, K. Hummer, G. Kresse, J. Furthmüller, and F. Bechstedt, "Linear optical properties in the projector-augmented wave methodology," *Phys. Rev. B*, vol. 73, no. 4, p. 045112, Jan. 2006, doi: 10.1103/PhysRevB.73.045112.
- [46] M. Bokdam *et al.*, "Role of Polar Phonons in the Photo Excited State of Metal Halide Perovskites," *Sci. Rep.*, vol. 6, no. 1, p. 28618, Sep. 2016, doi: 10.1038/srep28618.
- [47] A. Erkisi *et al.*, "First-principles investigation of LaGaO₃ and LaInO₃ lanthanum perovskite oxides" *Philos. Mag.*, vol. 96, no. 19, pp. 2040–2058, Jul. 2016, doi: 10.1080/14786435.2016.1189100.
- [48] A. Fahrenbruch and R. Bube, *Fundamentals of Solar Cells: Photovoltaic Solar Energy Conversion*, Academic Press, New York. 2012.
- [49] S. Azam and A. H. Reshak, "Electronic Structure of 1,3-dicarbomethoxy-4,6-benzenedicarboxylic acid: Density functional approach," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 8, no. 8, pp. 10359–10375, 2013.



İnşaat Mühendisliği Uygulamalarında Hücresel Dolgu Sistemlerinin Kullanımı Usage Of Cell Filling Systems In Civil Engineering Applications

Mehmet Hayrullah Akyıldız^{1*}, Kübra Adar², Sena Sevimli Özdemir²

¹University of Dicle, Institute Of Natural And Applied Sciences, Faculty Of Engineering, Department Of Civil Engineering, 21280, Diyarbakır/TURKEY, hayrulla.akyildiz@dicle.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7239-3518>

²University of Dicle, Institute Of Natural And Applied Sciences, Faculty Of Engineering, Department Of Civil Engineering, 21280, Diyarbakır/TURKEY, kubra_adar05@hotmail.com, senasevimli04@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6595-2879>, <https://orcid.org/0000-0003-2369-7456>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 10 Ocak 2022
Revizyon 23 Haziran 2022
Kabul 23 Haziran 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

Geosentetikler,
Hücresel Dolgu Sistemleri,
Şev Stabilitesi,
Yol Temelleri

ÖZ

Polyester, polietilen gibi maddelerden üretilen geosentetikler inşaat mühendisliği uygulamalarında özellikle geoteknik mühendisliği çalışmaları kapsamında kullanımı artmıştır. Günümüzde geosentetikler yaygın olarak zeminlerin tasarım ve inşasında ve su koruma yapılarında kullanılmaktadır. Geosentetiklerin başlıca kullanım amaçları ayırma, donatı, filtre, drenaj ve yalıtım olarak sınıflandırılabilir. Geosentetikler ayrıca drenajın borulamaya ve erozyona karşı geliştirilmesinde ve dolgu malzemelerin ayırmasında ve güçlendirilmesinde de kullanılmaktadır. Polietilen esash geosentetiklerden biri olan hücresel dolgu sistemleri karayollarında, yapı temellerinin güçlendirilmesinde, yeşil çatı uygulamalarında, şev yüzeyleri ve dere yataklarının stabilizasyonunda kullanımı artan uygulama yöntemlerinden biridir. Yüksek yoğunluğa sahip polietilen alaşımdan üretilen, petek dokulu ve üç boyutlu yapıya sahip olan hücresel dolgu sistemlerinin sağladığı pek çok avantaj vardır. Bunlar; sahip olduğu yapıdan kaynaklı doğal bir drenaj sistemi oluşturur, doğal dolgu malzemesi olarak kullanımına imkân sağlar ve dolgu zeminin sertlik derecesini artırarak dolguya mukavemet kazandırır. Bu çalışmada hücresel dolgu sistem (geocell) yapılarının kullanım alanları, sağladığı avantaj ve dezavantajlar değerlendirilmiştir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 January 2022
Received in revised form 23 June 2022
Accepted 23 June 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Geosynthetics,
Cellular Fill Systems,
Slope Stability,
Road Foundations

Doi: 10.24012/dumf.1055999

* Sorumlu Yazar

ABSTRACT

The use of geosynthetics produced from materials such as polyester and polyethylene has increased in civil engineering applications, especially within the scope of geotechnical engineering studies. Today, geosynthetics are widely used in the design and construction of soils and water conservancy structure. The main uses of geosynthetics can be classified as separation, reinforcement, filter, drainage and insulation. Geosynthetics are also used to improve drainage against piping and erosion, and to separate and reinforce fill materials. Cellular filling systems, which is one of the polyethylene-based geosynthetics, is one of the increasing application methods in highways, strengthening of building foundations, green roof applications, stabilization of slope surfaces and stream beds. There are many advantages provided by cellular filling systems, which are produced from high-density polyethylene alloy, have a honeycomb texture and three-dimensional structure. These; It creates a natural drainage system originating from the structure it has, allows it to be used as a natural filling material, and increases the hardness of the filled ground and gives strength to the filling. In this study, the usage areas, advantages and disadvantages of cellular filling system (geocell) structures were evaluated.

Giriş

Günümüzde geosentetikler yaygın olarak zeminlerin tasarım ve inşasında ve su koruma yapılarında kullanılmaktadır. Geosentetiklerin başlıca kullanım

amaçları ayırma, donatı, filtre, drenaj ve yalıtım olarak sınıflandırılabilir. Geosentetikler ayrıca drenajın borulamaya ve erozyona karşı geliştirilmesinde ve dolgu malzemelerinin ayırmasında ve güçlendirilmesinde de

kullanılmaktadır. Kullanım amaçlarındaki farklılıklardan dolayı, bu malzemelerin doğru seçimi çok önemlidir. Bu seçimde kullanılacak olan malzemenin kullanım amacı, açıklık ölçüleri, ağ açıklık alanı, çekme dayanımı, dayanıklılığı ve diğer faktörler malzeme seçiminde kullanım amacına göre dikkat edilmesi gerekli hususlardır. Geleneksel yöntemlerle uygulama zorluğu, hatta imkânsızlığı, tatminkar olmayan performans veya tasarımda, uygulamada karşılaşılan sorunlar geosentetikli alternatif çözümü gündeme getirebilmektedir. (Akyıldız 2010).

Son zamanlarda inşaat faaliyetlerinin artması ile birlikte zayıf zeminlerde de yapı inşa etme ihtiyacı gündeme gelmiştir. Bu ihtiyaç doğrultusunda zayıf zeminlerin ıslah edilerek iyileştirilmesine yönelik pek çok zemin iyileştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olan geosentetikler ile yapılan iyileştirmeler maliyet ve uygulama kolaylığında sağladığı avantajlardan dolayı günümüzde kullanımı giderek artmıştır. Geotekstil, geogrid, geomembran, geonet, geofoam ve hücresel dolgu sistemleri [geoceller] gibi son yıllarda kullanımı yaygınlaşan pek çok geosentetik türü bulunmaktadır.

Geosentetik türlerinden biri olan hücresel dolgu sistemleri üç boyutlu, gözenekli ve kenetli yapısı nedeniyle kullanıldığı zemini sıkıştırma etkisi yaratıp, sınırlandırarak diğer iyileştirme yöntemlerinden ayrılır. Hücresel dolgu sistemleri kullanılan zayıf zeminlerde emini hücrelere doğru sıkıştırarak zeminle birlikte güçlendirilmiş bir malzeme gibi davranıp yanıl hareketi sınırlandırır[1]. Hücresel dolgu sistemleri sahip oldukları yüksek rijitlik nedeniyle güçlendirme materyali olarak kullanılması nedeniyle mevcutta sahada bulunan düşük kalitedeki dolgu zeminlerinde yerinde kullanımını sağlayarak yeni bir dolgu malzemesi kullanımından da tasarruf edilmesini sağlar[2-5]. Yanal deformasyonu sınırlandırması sonucunda hücresel dolgu sistemleri zemin yapısına ek bir kohezyon oluşumu göstererek zeminin stabilizasyonunu artırır [6-10]. Hücresel dolgu sistemleri sahip olduğu üç boyutlu yapıdan kaynaklı olarak üst yapı, zemin, trafik ve sürüş yüklerini radye temel gibi davranıp geniş bir yüzeye dağıtarak yük taşıma kapasitesini artırır. Taşıma kapasitesindeki artışa bağlı olarak tabaka kalınlığı ve oturma miktarı azalış göstermektedir [11].

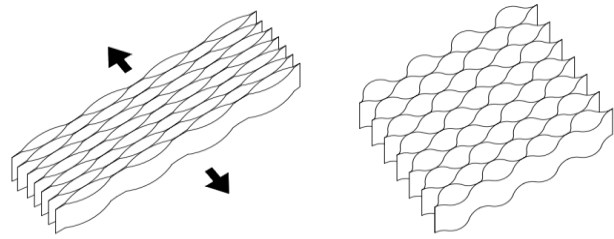
Hücresel dolgu sistemleri ile yapılan ilk uygulama Webster [1979] tarafından yapılmıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte maliyet ve uygulama kolaylığı açısından hücresel dolgu sistemlerinde metal materyaller yerine daha ergonomik materyaller tercih edilmeye başlanmıştır. [12,13]. Hücresel dolgu sistemleri genellikle yüksek yoğunluğa sahip polimer malzemelerden oluşan bir yapı olduğu gibi; atık lastik, plastik şişeler, bambu ve Hindistan cevizi lifi gibi materyaller kullanılarak hücresel dolgu sistem davranışları pek çok araştırmada incelenmiştir [6, 14,15,16,17].

Hücresel olarak sınıflandırmak ya da hapsedmek fikri ilk olarak 1970'lerde Birleşik Devletler Ordusu Mühendisliği tarafından ortaya konulmuştur. Başlangıçta geoceller

reçine edilmiş kağıttan, daha sonra metal hücrelerden yapılmıştır. Maliyet ve kullanım alanları açısından ileriki zamanlarda yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve Yeni Polimerik Alaşımdan (YPA) üretilmiştir [31].

Materyal ve Metot

Hücresel dolgu sistemleri [geocell], yapay olarak üretilen, polimer esaslı üç boyutlu, peteksi dokuya sahip sıkıştırılmış geosentetik türüdür[18]. Hücresel dolgu sistemleri başlangıçta akordeon şeklindedir. Açılıp gerdirildikten sonra birbiri ile bağlantılı şerit ve küçük duvarlı yapılar oluşur. Bu üç boyutlu yapısı oluşturulduktan sonra istenilen dolgu malzemesi ile doldurulur. Böylece istenilen işlev de kullanılır [19]. Oldukça yüksek eğilme dayanımına [20] ve çekme dayanımına sahiptir.



Şekil 1. Tipik geocell sistemi [21]

Geri dönüşümden elde edilememiş, orijinal olarak kendi hammaddesinden üretilen geocell, minimum 1,2 mm kalınlığa, 5-20 cm yüksekliğe, 30-80 cm kaynak aralığına ve en az 6,00 m uzunluğa sahip olmalıdır [22].

Tablo 1. Geocell teknik özellikleri [22].

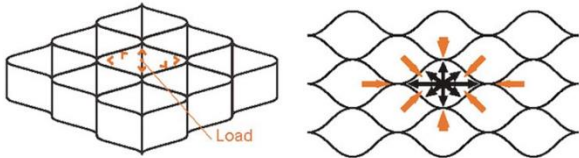
FİZİKSEL ÖZELLİKLER (± % 10)			
ÖZELLİKLER	BİRİM	DEĞER	TEST METODU
Materyal (hammadde)		Polietilen, pol-yester veya kompozitleri	
Polimer Yoğunluğu	g/cm ³	0.95	EN ISO 1183-1/A
Hücre Duvarı Yüzey Dokusu	İç sürtünme verimliliği için dokulu ve delikli.		
Kalınlık (t)	mm	>1,2	EN ISO 9863-1
Hücre Derinliği (h)	mm	50-65-75-100-120-150-200	EN ISO 9863-1
Kaynak Aralığı (w)	mm	330-356-445-660	EN ISO 9863-1
BOYUTSAL STABİLİTE DEĞERLERİ (± % 5)			
Hücre Boyutsal Stabilitate (Termal Genleşme Katsayısı ile) (CTE)	Ppm/1C ⁰	≤ 135	EN ISO 11359-2 (TMA)
ÇEKME MUKAVEMETİ DEĞERLERİ (± % 7)			
Materyalin sünmedeki mukavemet değeri	Mpa	>20	EN ISO 527
Sünmede Dayanım (Deliksiz, genişlikte)	kN/m	>21	EN ISO 10319
Sünmede Dayanım (Delikli, genişlikte)	kN/m	>16	EN ISO 10319
DİKİŞ KAYNAK MUKAVEMET DEĞERLERİ (± % 7)			
Dikiş Kaynak mukavemet - Kaynak Yarılması	kN/m	>17	EN ISO 13426-1 (METOD C)
FOTOKİMYASAL & OKSİTLENME DAYANIKLILIK			
UV Bozunurma direnci (UV ve Oksidasyon Direnci) Etkinli tasarım ömrü en az 60 yıl için	Dk.	≥400	ASTM D5885 (HPOIT @ 150°C) Testing per GRI GM13
UZUN VADELİ PLASTİK DEFORMASYONU (±% 10)			
Hızlandırma Yöntemi ile ölçülen Plastik Deformasyon	% Deformasyon	≤ 0.5 ≤ 0.6 ≤ 0.9 ≤ 1.0	ASTM D-6992 (SEM) (*)
Step 1 at 44°C (111°F) Step 2 at 51°C (124°F) Step 3 at 58°C (136°F) Step 4 at 65°C (149°F)			(*) At load of 4.4 kN/m

Hüresel Dolgu Sistemleri [Geocell] Avantajları

- Herhangi bir geosentetik madde-geocell-kullanılmama durumuna göre malzeme yada dolgu açısından ekonomik olarak yarar sağlamaktadır.
- En kötü zemin durumlarında dâhil, dayanım artışı açıkça görülmektedir.
- Kolay uygulanıp ekonomik olarak getirisi oldukça yüksektir.
- Ekonomik olarak ekstra nakliye ve makine işi gerekmemektedir [23].
- Drenaj için doğal akış sağlayıp dolgunun hidrolik şartlardan zarar görmesini engellemektedir.
- Üç boyutlu yapısı sayesinde dolgu malzemesini sıkıştırır. Bu sayede taşıma gücünü artırıp çökme ve yanal basınçları azaltmaktadır [24].

Hüresel dolgu sistemleri; radye temellerin çalışma mekanizması ile benzerlik göstererek zeminleri hücre içine hapseder. Böylelikle yanal ve düşey hareketleri sınırlandırarak kompozit bir davranış sergiler.

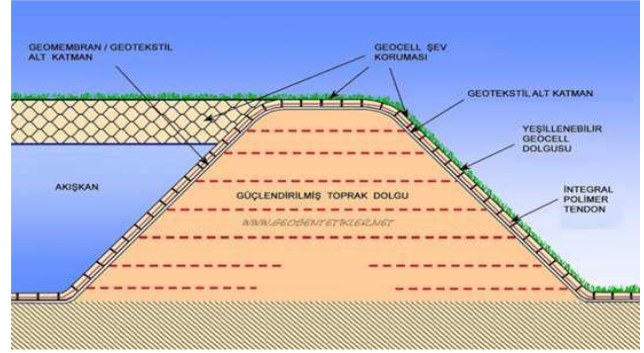
Düşük kohezyon değerine sahip kum ve çakıl gibi malzemelerde sıkışmayı sağlar. Her hücre ayrı ayrı çalışıp muhafaza altına alınan malzemenin yük altında deformasyona uğramasını engeller. Aynı zamanda malzemenin sıkıştırılması için gereken işçilikten ve zamandan tasarruf edilir [25]. Birçok bilim insanı tarafından yürütülen araştırmalarda geoceller ile güçlendirilen zemin örneklerinde taşıma gücünün artırılmasına ek olarak zemin numunesine ek bir kohezyon faktörü kazandırdığı tespit edilmiştir [6,7,8,9,10]



Şekil 2. Yük altında hapsedme mukavemeti [25].

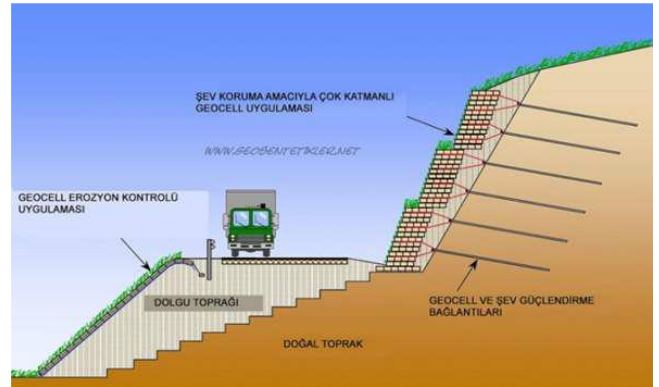
Hüresel dolgu sistemleri; zemin iyileştirme, güçlendirme, drenaj çalışmalarında kullanılmaktadır. Başlıca kullanım alanları; şev stabilitelerinde, yol kaplamalarında, istinat yapılarında, dolgu ve temelerde kullanılmaktadır.

Geoceller, kanal çalışmalarında erozyondan korunmak amacıyla kullanılmaktadır. Suyun akış hızına göre kullanım şekli değişmektedir. Su hızı 2 m/sn ise çim kaplama olarak kullanılırken, 2 m/sn'yi aşan hızlarda ise geocell içerisi beton doldurularak kullanılmaktadır. Bu sayede eğimli yüzeyler üzerinde çatlama oluşmayıp uzun süreli kullanım imkânı sağlamaktadır.



Şekil 3. Kanal duvar uygulamaları [26]

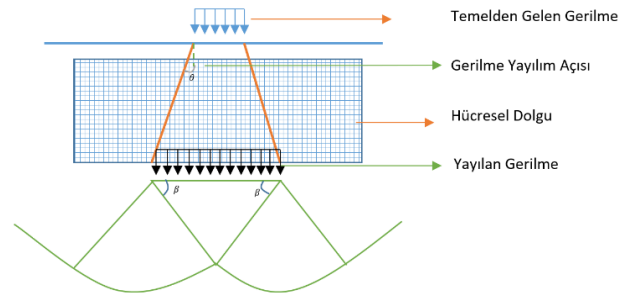
Dik yamaçlarda eğimden kaynaklı toprak yapısı, geocell ile oluşturulmuş dikey duvarlar korunabilmektedir. Burada geocell toprağı sadece tutmakla kalmayıp aynı zamanda drenaj görevini de görmektedir. Böylece hüresel dolgu sistemleri ile iyileştirilmiş kalıcı toprak yapıları oluşmaktadır.



Şekil 4 Kalıcı toprak yapısı oluşturma [26].

Genellikle betonarme yapılarda çelik donatılarla sağlanırken şev yüzeylerinde geocell kullanılarak ankraj uygulaması gerçekleştirilmektedir [26].

Yapılan temel uygulamaları çalışmalarında genel olarak şerit temeller üzerinde geocell uygulamaları yapılırken kare ve dairesel temel durumu da ele alınmıştır. Taşıma gücünün yetersiz olduğu durumlarda yada aşırı oturma gibi sorunlarda iyileştirme amacıyla kullanılmaktadır. Geocell ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş temel karşılaştırıldığında, güçlendirilmiş temelde oturma ve taşıma gücünde olumlu olarak sonuçlar elde edilmiştir [6].

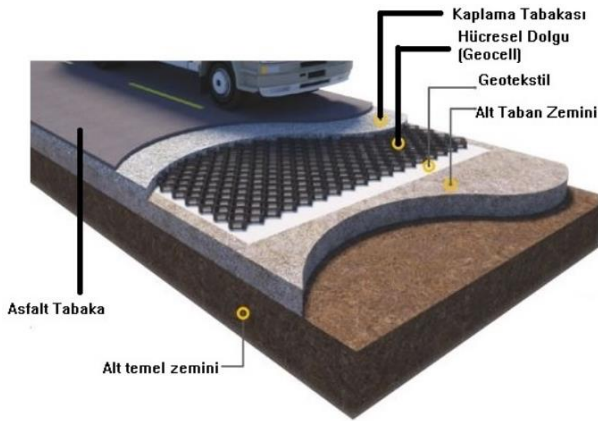


Şekil 5. Temelerde hüresel dolgu uygulaması[6]

Hüresel dolgu sistemlerinin kullanıldığı diğer bir alan ise karayolları temel tabakalarıdır. Kullanıldığı temelerde

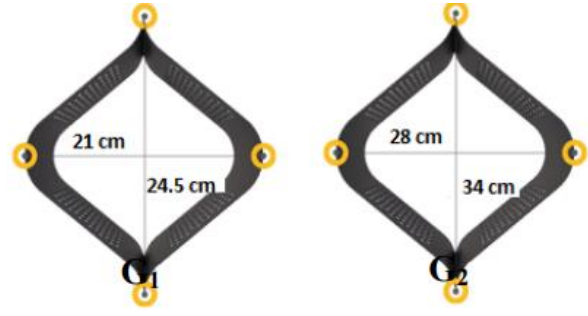
hücrelerin kuşatma etkisine temele gelen yükleri geniş bir alana yaydığı için düşey gerilmeleri azaltarak kullanılacak dolgu kalınlık miktarını en aza indirir. Hücresel dolgular yapısından kaynaklı esnek bir temel mantığıyla çalıştığı için tekerlek izi oluşumunu oldukça azaltır. Bununla birlikte düşey gerilmeleri azaltıp, farklı oturmaları engellediği için bisiklet ve yürüyüş yolları, otoparklar, yüksek tonajlı araçların geçiş yolları gibi zeminlerde kullanılır.

Hücresel dolgu sistemleri delikli ve esnek yapısı nedeniyle bitki kökleri ve suyun geocellerin içerisinden hareket etmesine olanak sağladığı için park ve bahçelerin peyzaj uygulamalarında kullanılan çevreci bir uygulamadır.



Şekil 6. Yollarda hücresel dolgu sistemi uygulaması [27]

Portakal G. [2021]' in yapmış olduğu çalışmada hücresel dolgu sistemi ile donatılan zeminlerde zemin türü, hüce boyutu farklı olan iki tip geocell kullanılarak arazi ortamında plaka yükleme deneyi yapılmıştır.



Şekil 7. Geocell boyutları [28]

Çalışmada kullanılan hücresel dolgu sistemlerinde hücre boyutu küçültülerek taşıma gücünde artış olduğu yapılan plaka yükleme deneyleri ile tespit edilmiştir. Bununla birlikte 1m²' lik alana düşen geocell miktarının artması sonucu oturma miktarının azaldığı çalışmada yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiştir. [28]

Şengül E. [2010]' nin yapmış olduğu çalışmada inşa edilecek yol platformu tabanında yer alan yumuşak kil zemini üzerinde meydana gelebilecek oturma miktarını azaltmak ve taşıma gücünü arttırmak amacıyla numunenin kireç stabilizasyonu ve hücresel dolgu sistemi ile donatılma çalışmaları yapılarak CBR deneyine tabi tutulmuştur. Çalışmada yapılan bir çok deneme sonucunda yüksek su muhtevalı kil zeminlerin önce kireç ile stabilize edilerek ardından hücresel dolgu sistemleri ile iyileştirilmesi durumunda olumlu neticeler verdiği çalışmada saptanmıştır. Buna bağlı olarak yüksek su muhtevalı kil zeminlerde yapılacak olan dolgu miktarı ve oturma miktarı azalmış olup, taşıma gücü değeri artmıştır. [29]Hücresel dolgu sistemleri, hidrolik yapılarda önemli bir mühendislik sorunu olan oyulma olayı üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Bu inceleme kapsamında hücresel dolgunun maksimum oyulma derinliğini azalttığı ve yapı mansabında kullanımının da uygun olduğu görülmüştür [30]

Sonuç

Bu makalede, daha önceden yapılmış hücresel dolgu sistemi ile ilgili araştırmalara yer verilmiştir. Hücresel dolgunun geçmişten günümüze değişimi, gelişimi, avantajları, çalışma mekanizması, kullanım alanları ve bu alanlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Temel oturmalarında azalma, taşıma gücünde artış, dik yamaçlarda tutma gücünü arttırmaktadır. Aynı zamanda ekonomik olarak diğer geosentetik ürünlere göre daha avantaj sağlamaktadır.

Kaynakça

- [1] Zhou, H., Wen, X., 2008. Model studies on geogrid-orgeocell-reinforced sand cushion on soft soil. *Geotextiles and Geomembranes* 26, 231-238.
- [2] Tanyu, B.F.,Aydilek, A.H., Lau, A.W., Edil, T.B., Benson, C.H., 2013. Laboratory evaluation of Geocell reinforced gravel subbase over poor subgrades. *Geosynth. Int.* 20 [2], 47–61.
- [3] Gurbuz, A. andMertol, H.C. [2012]. Interaction between assembled 3-D honey comb cells[geocell=geonet]produced from high density polyethylene and a cohesion lesss oil. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31[828-836].
- [4] Biabani, M.M.,Indraratna, B., Ngo, N.T., 2016. Modelling of geocell-reinforced subballast subjected to cyclic loading. *Geotext. Geomembranes* 44, 489–503.
- [5] Hegde, A.,Sitharam, T.G., 2017. Experiment and 3D numerical studies on soft clay bed reinforced with different types of cellular confinement systems. *Transp. Geotech* 10, 73–84.
- [6] Yünkül K., Gürbüz A., 2018, Hücresel Dolguların Kullanım Alanları ve Çalışma Mekanizması, *ISAS 2018, Antalya, Türkiye*
- [7]Bathurst R.J. and Karpurapu R., “Largescale triaxial compression testing of geocell rein forced granular soils”, *Geotechnical Testing Journal[ASTM]*, 16 [3], 296-303, 1993.
- [8] Rajagopal K.,Krishnaswamy N.R., Latha G.M., “Behaviour of sand confined with single and multiple geocells”, *Geotextiles and Geomembranes*, 17, 171-181, 1999.
- [9]Latha G.M. andMurthy V.S., “Effect of reinforcement form on the behaviour of geosynthetic rein forced sand”, *Geotextiles and Geomembranes*, 25, 23-32, 2007.
- [10]Chen R.H.,Huang Y.W., Huang F.C., “Confinement effect of geocells on sand sample sunder triaxial compression”, *Geotextiles and Geomembranes*, 37, 35-44, 2013.
- [11] Akyıldız M.H., 2019, Geosentetik türlerinin inşaat mühendisliğindeki uygulamaları ve sağladığı kolaylıklar, *DÜMF Mühendislik Dergisi* 10:2 [2019], 791-796.
- [12]Webster S.L., “Investigation of beach sand trafficability enhancementusing sand-grid confinement and membrane reinforce mentconcepts”,Report 1, Sand Test Sections 1 and 2, Vicksburg, MS U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Technical Report GL-79-20,1979
- [13]Webster S.L., “Investigation of beach sand traffic ability enhancement using sand-grid confinement and membrane reinforce mentconcepts”,Report 2, Sand Test Sections 3 and 4, Vicksburg, MS U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Technical Report GL-79-20,1979.
- [14] Dutta S. and Mandal J.N., “Model studies on geocell-reinforced flyash bedover lying softclay”, *Journal of Materials in CivilEngineering[ASCE]*, 28 [2], 2016.
- [15] Hedge A. AndSitharam T.G., “Useof bombo in soft ground engineering and its performance comparison with geosynthetics: experimental studies”, *Journal of Materials in Civil Engineering[ASCE]*, 27 [9], 2015.
- [16]Yoon Y.W.,Heo S.B., Kim K.S., “Geotechnical performance of waste tires for soil rein forcement from chamber tests”, *Geotextiles and Geomembranes*, 26 [1], 100-107, 2008.
- [17] Lal D,Sankar N., Chandrakaran S., “Behaviour of square footing on sand reinforced with coir geocell”, *Arabian Journal of Geosciences*, 10[15], 2017.
- [18] Han, J.,Yang, X.M., Leshchinsky, D.,Parsons, R.L., Rosen, A. [2008]. Numerical analysis for mechanisms of a geocell-reinforced base under a verticalload. *Proceedings of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics*June 17 - 20, Shanghai, China.
- [19]<https://www.movea.com.tr/hizmetler/hucresel-dolgu-sistemi/>[Erişim tarihi: 14.05.2021]
- [20] Işık, A., Gürbüz, Anıl, Ö. [2020].Assessment of soil-geocell interaction behavior by laboratory pullout tests. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*35:1, 27-38.
- [21]Şimşek, M.C. [2017]. Behavior of geocell reinforced sandy soils under static load. Middle East Technical University,Master of Science in Civil Engineering Department, Ankara.
- [22] Akın, B. [2016].Beton Dolgulu Geocell Teknik Şartnamesi.
- [23] Akyüz, İ. [2009]. Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- [24] Şengül, E. [2010]. Yüksek Su Muhtevalı Killi Yol Taban Zemininin Kireç Stabilizasyonu ve Hücresel Dolgu Sistemiyle İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [25]<https://geocelltarmaxx.com/hucresel-dolgu-sistemi/>[Erişim tarihi: 15.05.2021]
- [26] Akaydın, M., Yılmaz, K., Geosentetiklerin Özellikleri, Fonksiyonları ve Kullanım Alanları Üzerine Bir İnceleme Pamukkale Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil Teknolojisi, Denizli.
- [27]<https://www.insaport.com/haberler/hucresel-dolgu-geocell-sisteminin-calisma-mekanizmasi/> [Erişim tarihi: 17.05.2021]
- [28] Portakal G.G., 2021, Geohücre ile Güçlendirilmiş Zeminlerde Taşıma Gücünün Arazi Deneyleri ile Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun.
- [29] Şengül E., 2010, Yüksek Su Muhtevalı Killi Yol Taban Zemininin Kireç Stabilizasyonu ve Hücresel Dolgu Sistemiyle İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [30] Gül E., Sarıcı T., Dursun ÖF. Hidrolik Yapıların Mansabındaki Yerel Oyulma Derinliğine Hücresel Dolgu Sisteminin Etkisinin İncelenmesi, *Su Kaynakları*, 3, (2), 61-67.
- [31] Dehghanian K., Önder R. İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi, 2(2), 63-74.



Determining the Factors Affecting the Productivity in Construction Projects

Murat ÇEVİKBAŞ^{1*}

¹ Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Civil Engineering Department, muratcevikbas@isparta.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-8421-6591

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16 February 2022
Received in revised form 4 August 2022
Accepted 5 August 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Productivity, Duration, Extension of Time, Delay, Construction

ABSTRACT

Construction projects are sophisticated in nature and require close attention and project management techniques to complete projects on time by monitoring and controlling the project resources. Productivity is one of the significant factors affecting the project life-cycle in terms of time and cost. In this study, actual productivities of construction tasks such as gypsum board, suspended ceiling, ceramic, gypsum plaster, satin plaster, paint and thermal insulation board were determined at one of the Research and Training Hospitals in Istanbul. The site records were obtained from the daily reports reported in February, March, April and May. The laborers working for the concerning tasks worked 8 hours a day. Afterwards, the actual unit man-hour data for each activity obtained from the project reports were compared with the planned man-hours and unit man-hour data provided by the Ministry of Environment and Urbanization. In the wake of the comparison of planned unit manhour, actual unit manhour and unit manhour obtained from ministry, the factors affecting productivity were examined and necessary suggestions were made in order to improve productivity domain in the practice.

Doi: 10.24012/dumf.1074842

* Corresponding author

Introduction

Projects are defined as unique attempts to achieve the intended goals with the help of the effective use of limited resources by ad hoc organizations [1]. The organizations of construction projects are very complex and thus are prone to delays. When projects are delayed, contracting parties seek their rights according to the Extension of Time (EOT) provision of the project contract. An extension of time (EOT), usually requested by the contractor, is a provision in most standard contracts that refers to the extension of the project's planned completion date due to unforeseen circumstances. Extension of time (EOT) mostly ends up with dispute among the contracting parties and results in further time and cost overrun [2]. Due to the importance of the prevention of any delay in construction projects, resource utilization comes into prominence; therefore, construction firms have to use their resources more efficiently than the other competitors in order to complete the projects on time and within the budget to provide a strategic advantage against the other competitors and to ensure the sustainability of the firm [3]. The productivity values - which are learned from their previous projects - can help the companies to increase their profitability in their upcoming projects by reducing the

waste in the works. Minimizing waste in construction companies also contributes to the development of the economies of the countries [4]. In order to complete the project within the scope of the contract and expected time and budget, the correct determination of the number of resources and effective and efficient management of the resources are required. In order to compute the activity durations correctly, labor productivity should be forecasted accurately. Productivity values can change according to many factors such as the dynamics of the projects, the type of contract, and the type of project management. Today, the majority of projects experience delays [5]. For this reason, accurate determination of labor productivity is of vital importance in terms of completing the project on time. Delay is one of the main reasons that negatively affect the dispute, and its timely resolution plays an important role in maintaining business relations in the construction industry and providing the planned benefits from the projects. However, most construction projects fail to settle the time-related disputes [3–5], and this everlasting problem has taken the researchers' attention to focus on the studies proposing solutions to overcome the time-related disputes. There has been rising interest in studies focusing on the delay analysis domain with different aspects. While some researchers detected

the sources of time-related disputes to diminish or thwart the disputes in the projects [6–8], other researchers have concentrated on the productivity domain to ensure the project activities and project duration are completed on their due date. Many researchers stressed the need for realistic estimation to increase productivity in the construction industry [6], [7]. There are many factors affecting labor productivity in the construction sector [8]. For this reason, many studies have been conducted concerning productivity. Productivity can be defined as the relationship between the output which is produced by production or service and the input which is required to create the output. Dikmen et al. [9] stated in their study that wind direction affects productivity in high reinforced concrete structures. Sevim and Kuruoğlu [8] studied how formwork, reinforcement, concrete and masonry works are affected by weather conditions (temperature, relative humidity and wind speed). Erdiş et al. [10] conducted a study concerning productivity in the workforce such as rebar and stated that team profile, type of resources used in the project, indoor/outdoor environment conditions, psychological conditions and vocational training affect worker productivity. The Ministry of Environment and Urbanization annually publishes labor productivity values for various construction works. These values - which are taken as a reference by many organizations - were verified by Kuruoğlu and Bayoğlu [11] via a case construction project. Differences were observed between the values of the Ministry and the values that emerged as a result of the study, and they suggested that these values of the ministry should be updated. Factors Affecting Construction Labor Productivity have been determined by many researchers [12]–[15]. However, none of the studies have focused on the cause of the productivity changes. This study aims to determine labor productivity and the main factors affecting productivity through a case study. In this study, the productivity values of the workers in a research and training hospital project in Istanbul were measured for 4 months. The productivity of the workers working for the production of gypsum board, ceramic, suspended ceilings, gypsum plaster, satin plaster, paint and thermal insulation boards in construction works were determined. The productivities of the laborers – who work 8 hours a day - were measured by dividing the total working hours of the workers spent for each activity by the total amount of work produced in 4 months. Planned and actual productivity values obtained from the case project were compared with the concerning productivity provided by the Ministry of Environment and Urbanization and significant inferences were made to detect the causes of fluctuation in productivity in construction projects. It is highly believed that this study will pave the way for future studies concerning detecting factors affecting the fluctuation of labor productivity. Additionally, this study is believed to shed light on the improvement of labor productivity value of The Ministry of Environment and Urbanization. The scope of the study is limited to the research and training hospital project in Istanbul, Turkey.

Productivity

Productivity is a measure of how well resources are used and it is calculated as the ratio between the inputs (labor,

resources) and the outputs (goods, services). Productivity can also be computed in the works with more than one input and output. For these cases, multi-item productivity and total productivity analyses can be made [16], [17]. The representation of the computation of the productivity is summarized as depicted in Table 1 below.

Table1. Type of Productivity Methods

Type of Productivity	Equation
Partial Productivity	Output / A Single Input
Multi-Factor Productivity	Output / Multiple Inputs
Total Productivity	Output / All Inputs

The productivity equations - which are represented as output/input defined in Table 1 - can also be represented as input/output. In the construction industry, the equation concerning manhour/unit - which is generally described as partial productivity - is used to measure productivity. By the same token, this formula also expresses the unit labor time required for one unit of production. These values can also be obtained from the experiences of the companies' former projects, expert opinions and various sources such as the Unit Price Analysis of the Ministry of Environment and Urbanization [11], [18]. However, since the productivity values may vary from project to project, the assumed productivity values can be adjusted to the relevant project with the help of an expert opinion.

Methodology

In this study, productivities of the finishing work such as gypsum board, suspended ceiling, ceramic, gypsum plaster, satin plaster, paint and thermal insulation board at the research and training hospital in Istanbul were determined by measuring the workforce and production of the concerned laborers. The data were obtained from the daily construction site progress reports generated in February, March, April and May. In the daily construction site progress reports, detailed job definitions were made for each work item according to daily productions. The unit man-hour values are computed as depicted in Equation 1 below.

$$\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Labour working hour})}{\sum_{i=1}^n (\text{Unit})} \quad (1)$$

In Equation 1, while n stands for the number of the working day of the laborers, the unit represents daily production amounts. The concerned laborers worked 8 hours a day and their daily production values and the number of workers employed were reported from the field with the help of daily reports. Afterwards, the planned and actual unit man-hour data for each activity obtained from the project reports were compared with the unit man-hour data provided by the Ministry of Environment and Urbanization. Unit manhour amounts of each sub-item of the concerning activities in the analyses were summed in order to calculate the unit manhour value for the

concerning activities in the Unit Price Analysis of the Ministry of Environment and Urbanization. As a result of the comparison of planned, actual and ministry data, the factors affecting productivity were examined.

Results and Discussion

Productivity values were measured from February to May in the research and training hospital project in Istanbul, and the findings are depicted in Table 2 below.

Table 2. Findings concerning productivity

Work	Unit	Total Unit	Daily Report Data (Total Monthly Unit)				Manhour / Unit
			February	March	April	May	
Gypsum Board	m ²	25,630	3,420	6,650	7,975	7,585	0.60
	manhour	15,288	3,960	3,688	3,848	3,792	
Suspended ceiling	m ²	30,970	5,945	8,605	9,760	6,660	0.59
	manhour	18,416	4,112	4,104	4,704	5,496	
Ceramic	m ²	16,691	3,976	6,108	3,325	3,282	0.93
	manhour	15,480	4,592	4,680	2,936	3,272	
Gypsum Plaster	m ²	7,935	1,570	2,150	2,745	1,470	0.61
	manhour	4,824	1,208	1,496	1,464	656	
Satin Plaster	m ²	85,055	15,850	11,000	26,845	31,360	0.31
	manhour	26,200	4,896	4,888	8,776	7,640	
Paint	m ²	35,150	8,000	1,160	8,120	17,870	0.16
	manhour	5,624	920	608	1,224	2,872	
Thermal Insulation Board	m ²	2,550	640	1,210	700	-	1.12
	manhour	2,848	600	1,464	784	-	

Productivity values (manhour/unit) which were determined during the planning phase of the training and research hospital project, actual productivity values which were determined with the help of the daily construction site progress reports and the productivity values which were obtained from the Unit Price Analysis of the Ministry of Environment and Urbanization are compared in Table 3.

When the tables involving unit manhour values determined during the planning phase of the project and the unit manhour values computed through the daily construction site progress reports are compared, it is detected that the planned and actual productivity values are very close to each other. As is seen in Table 3, the actual productivities are better (lower) than the planned productivities except for

gypsum plaster and satin plaster works. It was interpreted as that the subcontractors of these activities deliberately assigned the higher unit man-hour values in order to offer a higher price in their tender.

When the actual productivities of the concerning activities are compared with the unit manhour values of ministry, it is determined that the actual labor productivities are better because the project accommodated the skilled workers who have received a professional qualification certificate, which was clarified by supervisors of these workers. When the actual productivities concerning gypsum board, suspended ceiling and paint are compared with the productivity values of the Ministry of Environment and Urbanization, it is seen that the actual productivities are far ahead.

Table 3. Productivity comparison table

Activities	Unit manhour values			Ministry of Environment and Urbanization Item Number
	Planned Values	Actual Values	Ministry Values	
Gypsum Board	0.80	0.60	2.80	15.530.1005
Suspended ceiling	0.60	0.59	3.00	15.530.1131
Ceramic	1.10	0.93	1.20	15.380.1056
Gypsum Plaster	0.40	0.61	0.70	15.280.1008
Satin Plaster	0.13	0.31	0.55	27.528/3
Paint	0.60	0.16	0.78	15.540.1225
Thermal Insulation Board	1.20	1.12	1.20	15.345.1106

Conclusion

Measuring labor productivity in construction projects is very vital for companies to gain a competitive advantage and increase profitability by reducing waste. Productivity is one of the indispensable elements of project management for the issues such as calculating the total duration of the projects, calculating the total labor costs in tenders and balancing resources within the project. In addition to the success of enterprises, labor productivity is essential for the growth of the economies of the countries and the increase in the level of welfare. In this study, labor productivities for the aforementioned activities were measured and computed in the case project in a comprehensive manner over 4 months. The actual productivities were compared with the planned values of the project and the values obtained from the Ministry of Environment and Urbanization. It has been determined that the actual labor productivities concerning gypsum board, suspended ceiling, ceramics, gypsum plaster, satin plaster, paint and heat insulation board coating are higher than values obtained from the Unit Price Analysis of the Ministry of Environment and Urbanization. Based on this result, it is clear that the data of the Ministry of Environment and Urbanization should be revised because they are too high. It is inferred from this case study that the unit manhour values concerning planned gypsum board, suspended ceiling, paint, ceramic and thermal insulation board are higher than the actual productivity values. The main reason for this was detected as the tendency of the subcontractors to give high labor prices at the tender stage. In this case, it is concluded that it is important for the owner to control the productivity values of the contractors and subcontractors in order to achieve the most accurate tender offer. In the study, it was observed that the working environment and camp conditions of the workers working in the production of satin plaster and gypsum plaster were poor, and the workers' wages were not paid on time. For this reason, it has been concluded that the

planned unit manhour values are less than the actual unit manhour values. It is highly believed that this study will contribute to the literature concerning the factors affecting the fluctuation of labor productivity. Furthermore, this study is believed to guide The Ministry of Environment and Urbanization to improve labor productivity values. The scope of the study is limited to works such as gypsum board, suspended ceiling, ceramic, gypsum plaster, satin plaster, paint and thermal insulation board; therefore, other construction works should be examined in the other studies to guide the practitioners and Ministry of Environment and Urbanization. Furthermore, this research has also a limitation that it was conducted in a training hospital project in Istanbul, Turkey. Other case studies can be conducted to further validate the outcomes of this study.

Ethics committee approval and conflict of interest statement

There is no need to obtain permission from the ethics committee for the article prepared

There is no conflict of interest with any person / institution in the article prepared

Authors' Contributions

Çevikbaş M: conducted all study in the manuscript

References

- [1] PMI, A Guide to the Project Management Body of Knowledge, 6th ed. Pennsylvania: Project Management Institute, 2017.
- [2] M. Çevikbaş and Z. Işık, "An Overarching Review on Delay Analyses in Construction Projects," *Buildings*, vol. 11, no. 3, pp. 1–25, Mar. 2021, doi: 10.3390/buildings11030109.

- [3] A. Akinci, "Sürdürülebilir Rekabet Üstünlüğünün Sağlanmasında Inovasyonun Üretim Maliyetlerine Etkisi ve Ampirik Bir Uygulama," Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2011.
- [4] P. Núñez-Cacho, J. Górecki, V. Molina, and F. A. Corpas-Iglesias, "New Measures of Circular Economy Thinking In Construction Companies," J. EU Res. Bus., vol. 2018, pp. 1–16, 2018, doi: 10.5171/2018.909360.
- [5] A. Bakiş and M. Yılmaz, "Kamu İnşaat Projelerinde Gecikmeye Etki Eden Faktörlerin Bulanık Mantık Ile İncelenmesi," 2015.
- [6] L. Sveikauskas, S. Rowe, J. Mildenerger, J. Price, and A. Young, "Productivity Growth in Construction," J. Constr. Eng. Manag., vol. 142, no. 10, pp. 04016045-1–8, 2016, doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001138.
- [7] H. R. Thomas and I. Yiakoumis, "Factor Model of Construction Productivity," J. Constr. Eng. Manag., vol. 113, no. 4, pp. 623–639, 1987.
- [8] M. Kuruoğlu and D. Sevim, "Süresel Planlamadaki Verimlilik lerin Mevsime Göre Değişiminin Regresyon Analizi," in 6. İnşaat Yönetimi Kongresi, 2011, pp. 359–369.
- [9] M. A. S. Yiğit and M. S. B. Şener, "Yüksek Yapı Çalışmalarında Bir Verimlilik Faktörü: Rüzgar," e-Journal New World Sci. Acad., vol. 7, no. 1, pp. 84–95, 2012.
- [10] E. Erdiş, G. Mistikoğlu, O. Genç, and E. L. Oral, "Betonarme Demir İşlerinde Verimliliği Etkileyen Faktörler," in Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi, 2017, pp. 155–164.
- [11] Murat Kuruoğlu and F. İ. Bayoğlu, "Yapı Üretiminde Adamaaat Değerlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma ve Sonuçları," 2001.
- [12] A. M. Jarkas and C. G. Bitar, "Factors Affecting Construction Labor Productivity in Kuwait," J. Constr. Eng. Manag., vol. 138, no. 7, pp. 811–820, 2012, doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000501.
- [13] S. G. Allen, "Why Construction Industry Productivity Is Declining," Rev. Econ. Stat., vol. 67, no. 4, pp. 661–669, 1985.
- [14] A. Hasan, B. Baroudi, A. Elmualim, and R. Rameezdeen, "Factors affecting construction productivity: a 30 year systematic review," Eng. Constr. Archit. Manag., vol. 25, no. 7, pp. 916–937, 2018, doi: 10.1108/ECAM-02-2017-0035.
- [15] A. Makulsawatudom, M. Emsley, and K. Sinthawanarong, "Critical Factors Influencing Construction Productivity in Thailand," J. KMITNB, vol. 14, no. 3, pp. 1–6, 2004.
- [16] M. Hannula, "Total productivity measurement based on partial productivity ratios," Int. J. Prod. Econ., vol. 78, pp. 57–67, 2000.
- [17] B. S. Sahay, "Multi-factor productivity measurement model for service organisation," Int. J. Product. Perform. Manag., vol. 54, no. 1, pp. 7–22, 2005, doi: 10.1108/17410400510571419.
- [18] R. Sönmez, "İnşaat sektöründe işgücü verimliliğinin önemi," Veriml. Derg., no. 1, pp. 1–7, 2006.



Simetrik Akarsu Kavşaklarında Akım Derinliklerinin İncelenmesi

*Investigation of Flow Depths at Symmetrical Confluences*Mustafa Eyhan^{1*}, Cihan Canıbek¹, Gökçen Bombar², António Heleno Cardoso³¹İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, mustafa_eyhan@hotmail.com, ORCID: ID: 0000-0002-4165-2430¹İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, cihancanibek@hotmail.com, ORCID: ID: 0000-0001-6316-5919²İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, gokcen.bombar@ikcu.edu.tr, ORCID: ID: 0000-0002-8156-6908³Lisbon Üniv. Instituto Superior Técnico, İnşaat Mühendisliği Bölümü, antonio.cardoso@tecnico.ulisboa.pt, ORCID: ID: 0000-0002-9600-4254

MAKALE BİLGİLERİ

*Makale Geçmişi:*Geliş 18 Şubat 2022
Revizyon 28 Mart 2022
Kabul 20 Haziran 2022
Online 30 Eylül 2022*Anahtar Kelimeler:**Akarsu kavşağı, akım derinliği,
momentum denklemi*

ÖZ

Bu çalışmada 90° birleşim açısına sahip simetrik akarsu kavşaklarında akım derinlikleri incelenmiştir. Çalışmadaki sabit parametreler; kavşak açısı ve genişlikler olup, değişken parametreler ise yan kollardan gelen debiler ve mansap akım derinliğidir. Çalışmada kavşak bölgesinde belirlenmiş olan kontrol hacminde akım derinlikleri ölçülmüştür. Kontrol hacminin mansabında ölçülen akım derinliğine bağlı olarak memba akım derinlikleri bulunmuştur. Memba akım derinlikleri iki yan kol için de aynıdır varsayımına bağlı olarak momentum denklemi yazılmıştır. Momentum denklemlerinde elde edilen akım derinlikleri deneylerde ölçülen akım derinlikleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kontrol hacmi memba akım derinliklerinin eşit olduğu varsayımı doğrulanmıştır ve deneysel ve sayısal veriler birbirine yakın bulunmuştur.

ARTICLE INFO

*Article history:*Received 18 February 2022
Received in revised form 28 March 2022
Accepted 20 June 2022
Available online 30 September 2022*Keywords:**Confluence, flow depth, momentum
equations*

ABSTRACT

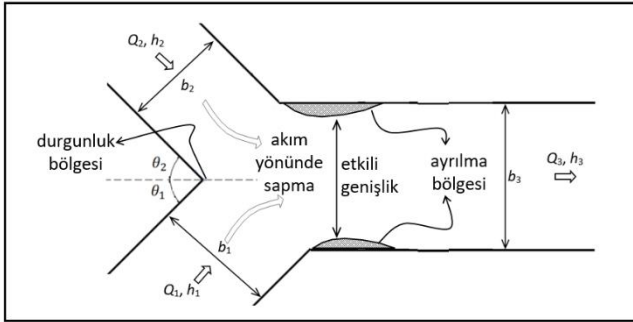
In this study, the flow depths at symmetrical confluences stream with 90° junction angle was investigated. In the study; constant parameters are the intersection angle and widths, and the variable parameters are the flow rates from the tributary channels and the downstream flow depth. In the study, flow depths were measured in the control volume determined in the confluence area. Upstream flow depths were found depending on the flow depth measured downstream of the control volume. The momentum equation is written for tributary channels based on the assumption that the upstream flow depths are the same. The flow depths obtained in the momentum equations were compared with the experimental flow depths. As a result, the assumption was confirmed that the control volume upstream flow depths are equal and the experimental and numerical data were found to be close to each other.

Doi: 10.24012/dumf.1075920

* Sorumlu Yazar

Giriş

Akarsu kavşağı iki veya daha fazla akarsuyun birleşerek birbirine karıştığı ve tek bir akarsu olarak akmaya devam ettiği yer olarak tanımlanmaktadır [1], [2], [3]. Akarsu kavşakları simetrik veya asimetric olabilmektedir. En genel hali ile sediment taşınımının olmadığı bir akarsu kavşağının plan görünümü Şekil 1’de verilmiştir. Best (1987) tarafından ortaya konmuş akarsu kavşaklarındaki hidrodinamik yapının kavramsal modeline göre, iki yan kolun birleşmesi ile akım yönünde sapma olmakta, iç köşede basıncın ve akım derinliği artmakta, akım hızlarının ve kayma gerilmelerinin azaldığı durgunluk bölgesi ve dış yan duvarların etrafında ayrılma bölgeleri oluşmaktadır. Ayrılma bölgesi içinde kendi etrafında dönen çevrıntiler meydana gelmekte ve yukarı yönde düşey hızlar önemli ölçüde belirginleştiği gözlenmektedir. Bu düşey hızlar bir nevi su perdesi oluşturmakta ve bu perde ana kanaldaki akımın bu bölgeye girmesini engellemektedir. Böylece karışma noktasının mansabındaki akımın aktığı kesit daha da daralmakta, etkili kanal genişliği azalmakta ve daha büyük hızlara sebep olmaktadır. Akarsu kavşağı Şekil 1’deki gibi Q_1 ve Q_2 debisine sahip, b_1 ve b_2 genişliğinde ve h_1 ve h_2 akım derinliğindeki iki yan kolun ana kanal eksenine yaptıkları θ_1 ve θ_2 açıları ile birleşerek, Q_3 ($= Q_1 + Q_2$) debisi, b_3 genişliği ve h_3 akım derinliğinde akmaktadır [4].

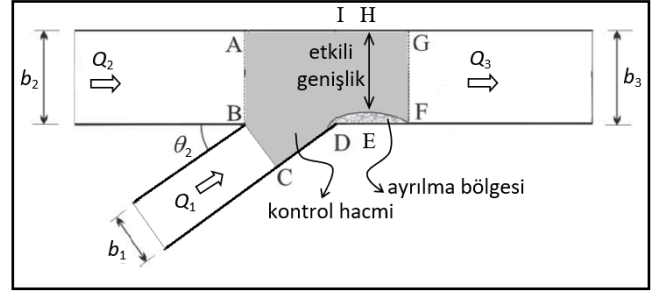


Şekil 1. Genel hali ile bir akarsu kavşağı ve ilgili değişkenler [4].

Burada ana kanal eksenine yapılan açıların sıfırdan farklı olması durumunda kavşak simetrik, herhangi birinin sıfır olması durumunda asimetric olarak tanımlanmaktadır. Hem simetrik ve hem de asimetric özellikteki tüm akarsu kavşakları içinde süreklilik ve momentumun korunumu denklemleri kavşağa bağlı olan tüm kollar için belirli varsayımlar altında bir kontrol hacmi üzerinde uygulanarak akım derinlikleri belirlenebilmektedir.

Akarsu kavşaklarında akım derinliklerinin incelenmesi üzerine bilinen ilk çalışma Taylor (1944) tarafından yapılmıştır. Taylor, dikdörtgen kesitli yan kolun $\theta_2 = 45^\circ$ ve 135° açıları ana kanala birleştiği asimetric akarsu kavşağı deney düzeneği üzerinde akımın karakteristik özelliklerini incelemiştir (Şekil 2). Tüm kollarda nehir rejiminde oluşturduğu kavşak içinde belirlediği ABCDFGA kontrol hacmi üzerinde süreklilik ve momentumun korunumu ilkesi kullanırken şu varsayımları yapmıştır: (1) yan kol ve ana kanal genişlikleri birbirine eşittir ($b = b_1 = b_2 = b_3$), (2) taban eğimi sıfırdır, (3) sürtünmeden kaynaklı enerji kayıpları ihmal edilebilir, (4) hidrostatik basınç dağılımı geçerlidir, (5)

kontrol hacmi sınırlarında akım çizgileri birbirine paraleldir, (6) AB ve BC kesitlerindeki akım derinlikleri eşittir ($h_{AB} = h_{BC}$), (7) BC ve CD yüzeyine etkiyen basınç eşittir ve (8) tüm en kesitlerde hız uniform olarak dağılmıştır [2], [3], [5].



Şekil 2. Asimetric akarsu kavşağı plan görünümü [5].

Elde edilen denklem (1) ile verilmiştir.

$$N_y^3 - N_y(1 + 2F_3^2) + 2F_3^2[N_q^2(1 + \cos\theta_2) - 2N_q + 1] = 0 \quad (1)$$

Burada akım derinliği oranı $N_y = h_1/h_3$, debi oranı $N_q = Q_1/Q_3$ ve kavşak mansabındaki Froude sayısı $F_3 = U_3/\sqrt{gh_3}$ olup denklem yaklaşık $F_3 > 0,5$ için geçerlidir [5]. Taylor (1944) denklem (1) ile kavşak içindeki akım derinliklerini hesaplamış ve bu hesaplanan değerleri deneysel veriler ile kıyaslamıştır. Kavşak açısının 45° ve küçük N_q değerleri için birbirine daha yakın sonuçlar elde edildiği görülmüş olup, hatanın daha ziyade (5) numaralı varsayımdan kaynaklandığı ifade edilmiştir. Webber ve Greated (1966), Taylor (1944)’ün çalışmasına ilave olarak $30^\circ, 60^\circ$ ve 90° olan üç birleşim açısında, $N_q = [0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1]$ değerlerinde ve nehir rejiminde (maksimum $F_3 = 0,6$) gerçekleştirilen deneylerde kavşak boyunca meydana gelen derinlik artışı ve yan duvarların kavisli olmasının etkisini incelemiştir. Denklem (1)’in kullanılması ile hesaplanan N_y değerlerinin deneylere göre daha küçük elde edildiği görülmüş, bir düzeltme katsayısı ve enerji kaybının hesaplanması için de bir denklem önerilmiştir [2], [3], [7].

Momentum denkleminin çıkartılmasında seçilecek kontrol hacminin sınırları Taylor (1944) tarafından yapılmış varsayımların geçerliliği üzerine etkilidir. Özellikle akım çizgilerinin paralel olması üzerine yapılmış (5) nolu varsayım ile ayrılma bölgesinin uzunluğu ve genişliğinin etkili olduğu görülmektedir [5]. Modi ve diğerleri (1981) sürtünme kayıplarının belirlenmesinde ayrılma bölgesi genişliğinin özellikle etkili olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle ayrılma bölgesi geometrisi üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır [8]-[11]. Best ve Reid, (1984) dikdörtgen kesitli asimetric akarsu kavşağında $30^\circ, 60^\circ$, ve 90° kavşak açıları ve mansap akım Froude sayısı 0,1 - 0,3 arasında değiştiği deneylerinde ayrılma bölgesi genişliği, W ve uzunluğunu, L mansap kanal genişliğini kullanarak boyutsuzlaştırmış ve her iki parametrenin N_q ve θ_2 ile arttığını göstermiştir [9]. Hager (1987), ayrılma bölgesinin geometrisinin maksimum genişliği ve uzunluğu tahmin edilmesi üzerine asimetric kavşakta çalışma yapmıştır. Şekil 2 üzerinde CD yüzeyine

gelen hidrostatik basınç P^* ve etkin genişliğin hesaplanmasında kullanılan bir katsayı olan daralma katsayısını, m dikkate alarak nehir rejiminde yaptığı deneyler sonunda ayrılma bölgesinin hem uzunluğu hem de genişliğinin yan koldan gelen debinin toplam debiye oranının artmasıyla artmakta olduğunu ortaya koymuştur [6]. Gurram ve diğerleri (1997), asimetrik kavşak üzerinde yaptıkları çalışmada 30° , 60° , ve 90° kavşak açılarını incelemiştir. Çalışmada mansap Froude sayıları 0,25, 0,50 ve 1,00 yan kol ve ana kol debi oranları 0, 0,25, 0,50, 0,75 ve 1,00 olarak alınmıştır [2], [3], [12], Hsu ve diğerleri (1998a), 30° , 45° ve 60° kavşak birleşim açıları, eşit genişlikte olan ana kanal ve yan kola sahip asimetrik kavşak üzerinde nehir rejiminde çalışma yapılmıştır. Yük kayıplarının hesaplanmasını amaçlayan çalışmada enerji kayıplarının Froude sayısı ve kavşak açısının artması ile arttığı belirtilmiştir [2], [3], [10]. Hsu ve diğerleri (1998b), 12 m uzunluğunda ana kanal ve 4 m uzunluğunda yan koldan oluşan asimetrik kanal kavşağında deneysel çalışma yapılmıştır. Kanal genişlikleri yan kol ve ana kanalda eşittir. Çalışmada enerji ve momentum düzeltme katsayısı, ayrılma bölgesinin mansap tarafında hesaplanmıştır. Sayısal çalışmaya sürtünme ve türbülans kayıpları da eklenmiş ve buna bağlı olarak enerji kaybı katsayısı geliştirilmiştir. Çalışmada kavşaktan membaya doğru ana kanal ve yan kol genişliklerinin iki katı kadar mesafede akım derinliklerinin yaklaşık olarak eşit olduğu belirtilmiştir [2], [3], [13]. Weber ve diğerleri (2001), 90° açılı akarsu kavşağında yaptıkları çalışmada kavşak içinde hız ölçümü gerçekleştirmişler ve ayrılma bölgesi genişliğinin su yüzeyi yakınında tabana göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir [14].

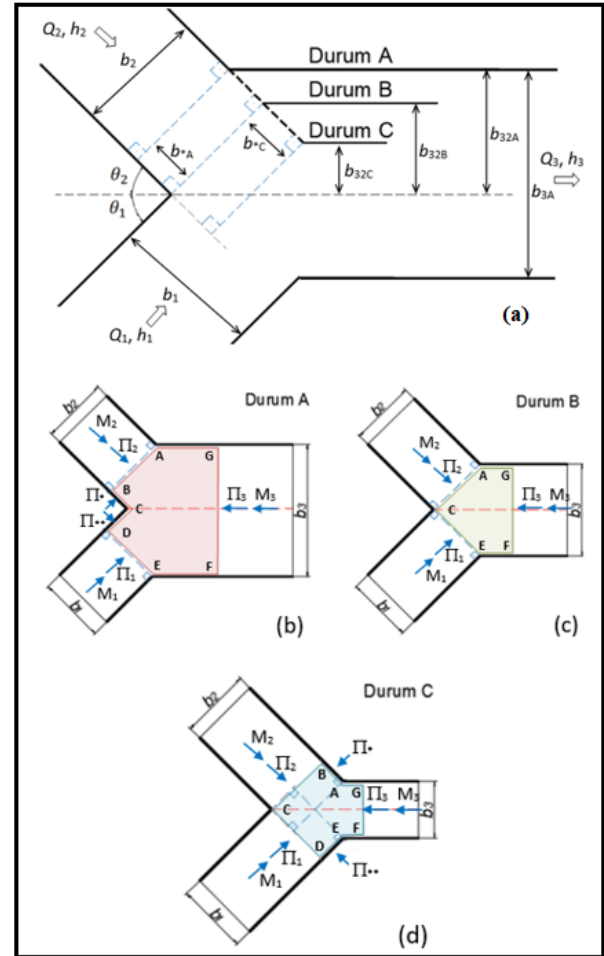
Coelho (2015), eşit genişliklere sahip asimetrik bir kavşakta tüm kanallarda nehir rejiminin (Tip 1), kavşak membasında sel veya nehir rejiminin mansabında ise nehir rejiminin (Tip 2), kavşak membasında sel veya nehir rejiminin mansabında ise sel rejiminin (Tip 3) gerçekleştirildiği deneyler olarak 3 tipe 36 deney gerçekleştirmiştir. Şekil 2’de AB, BC ve GF kesitlerinde ölçtüğü akım derinlikleri ile denklem (1) kullanılarak hesapladığı derinlikleri kıyaslamıştır. Tip 1 akımlarında AB ve BC en kesitlerinde akım derinliklerinin eşit olduğu varsayımının doğrulandığı belirtilmiştir [2], [3], [15].

Carballada ve diğerleri (1981), simetrik kavşaklardaki akım üzerine çalışma yapmışlardır. İki kanalın kavşak membalarındaki akım derinliklerinin eşit olduğu ve kavşak mansabındaki momentum düzeltme katsayısının 1,15 olduğu varsayımı yapılmıştır [2], [3], [16]. Pandey ve Mishra (2012), dikdörtgen ve trapez kesitli akarsu kavşakları üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada $\theta_1 = 30^\circ$ ve $\theta_2 = 90^\circ$, kanal genişlikleri $b_1 = 0,35$ m, $b_2 = 0,25$ m ve $b_3 = 0,45$ m ve yan kol 1 ve 2’nin, ana kanal eksenine ile yaptığı açılar sırasıyla θ_1 ve θ_2 ’dir. Yapılan varsayımlara göre akım kanal duvarlarına paraleldir, hız kavşak üstünde ve altında homojen dağılmaktadır, sürtünme kaybı ihmal edilmiştir, yan kol akım derinlikleri kavşak membalarında aynıdır. Belirlenen kavşak birleşim bölgesi için gerekli varsayımlara göre momentum denklemleri yazıldığında ve deneysel verilerle kıyaslandığında kavşak membalarında su yüksekliklerinin yaklaşık olarak aynı olduğu ve deneysel verilerle örtüştüğü belirtilmiştir [2], [3], [17].

Çalışmanın Amacı

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde hem simetrik hem asimetrik kavşaklar için farklı geometrilere uygulanabilen farklı denklemler görülmüştür. Bu çalışmada düzenlenecek genel bir denklemin deneysel olarak doğrulanması amaçlanmış ve Şekil 3.a’da verilen plan üzerinde momentum denkleminin kullanılarak yapılan varsayımların uygunluğunun araştırılması planlanmıştır. Yan kolların ana kanal ile birleşimleri incelendiğinde Şekil 3’te verilen 3 farklı konfigürasyon ile karşılaşılabileceği görülmüştür. Burada Şekil 3.b, 3.c ve 3.d’de yan kolların birbirine aynı açı ile bağlandığı ve sırasıyla Durum A, Durum B ve Durum C sunulmuştur.

İki yan kol ve bir ana kanalın birleştiği akarsu kavşaklarında karşılaşılabilecek üç muhtemel durum vardır. Bu durumlardan ilki; yatay eksenle θ_1 ve θ_2 açıları ile bağlanan akarsu kavşağında yan kolların ana kanal ile birleştiği duvardan yan kolların diğer duvarlarına çizilen dikler yan kolların birleştiği duvarla kesişmiyor, yan kol memba tarafına doğru kalıyorsa durum A, çizilen dik yan kolların birleştiği duvarla kesişiyorsa durum B, yan kol duvarlarıyla kesişmiyor, yan kolun iç bölgesinde kalıyorsa durum C’deki gibidir. Muhtemel koşullar arasında Pandey (2012)’nin yapmış olduğu çalışmanın Durum B’ye Coelho (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmanın Durum C’ye uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Kanal geometrisine göre (a) muhtemel durumlar (b) Durum A, (c) Durum B, (d) Durum C [2].

Bu durumlar için aşağıdaki varsayımlar yapılarak (1) yan kol ve ana kanal genişlikleri sırasıyla b_1 , b_2 ve b_3 'dir, (2) taban eğimi sıfırdır, (3) sürtünmeden kaynaklı enerji kayıpları ihmal edilebilir, (4) hidrostatik basınç dağılımı geçerlidir, (5) kontrol hacmi sınırlarında akım çizgileri birbirine paraleldir, (6) durum A için AB ve DE kesitlerinde, durum B ve durum C için AB ve BC kesitlerindeki akım derinlikleri eşittir, (7) durum A için BC ve CD yüzeyine durum C için AG ve EF yüzeyine etkiyen basınç eşittir, (8) tüm en kesitlerde hız üniform olarak dağılmıştır.

Burada b_{*A} Durum A için hidrostatik kuvvetin etki ettiği duvar genişliğini, b_{*C} ise Durum A için hidrostatik kuvvetin etki ettiği duvar genişliğini göstermekte olup Durum C için hidrostatik kuvvetin etki ettiği duvar bulunmamaktadır. Uygulanan hidrostatik kuvvet Π_* ve ana kanal eksenine paralel bileşeni Π_{*x} olarak tanımlandığında

$$\Pi_{*x} = \frac{1}{2} \gamma (b_{31} - b_1 \cos \theta_1) h_1^2 \quad (2)$$

Burada γ özgül ağırlıktır. Şekil 3.b, 3.c ve 3.d'de 1 nolu yan kolun sınırında bulunan kesite etkiyen hidrostatik basınç kuvveti ve momentumun ana kanal eksenindeki bileşenleri sırasıyla kuvvet P_{1x} ve M_{1x} olup aşağıdaki denklemler ile verilmiştir.

$$\Pi_{1x} = \frac{1}{2} \gamma b_1 h_1^2 \cos \theta_1 \quad (3)$$

$$M_{1x} = \rho \frac{Q_1^2}{b_1 h_1} \cos \theta_1 \quad (4)$$

Burada ρ yoğundur. 2 nolu yan kol için adı geçen değişkenler sırasıyla P_{*x} , P_{2x} ve M_{2x} ve ana kanal için P_3 ve M_3 olup Şekil 3.b, 3.c ve 3.d'de verilen kontrol hacmine etkiyen tüm kuvvetler denklemden yazıldığında aşağıdaki denklem elde edilmiş olur.

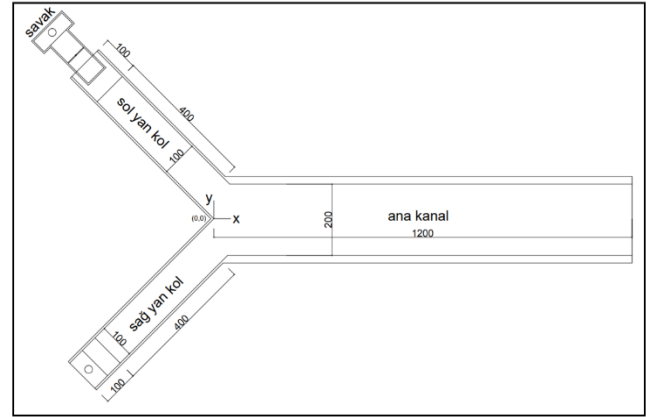
$$\Pi_{1x} + \Pi_{*x} + \Pi_{2x} + \Pi_{*x} - \Pi_3 + M_{1x} + M_{2x} - M_3 = 0 \quad (5)$$

Taylor (1944) tarafından yapılmış varsayımlardan biri olan akım derinliklerinin yan kol kesitinde eşit olması durumunun geçerliliğinin incelenmesi amacıyla simetrik akarsu kavşağında Durum A koşulları oluşturulmuştur. Kavşak bölgesinde belirlenmiş olan kontrol hacmi içinde akım derinlikleri ölçülmüş ve kontrol hacmi mansap akım derinliğine bağlı olarak denklem (4) kullanılarak kontrol hacmi membarları için akım derinlikleri hesaplanmıştır. Elde edilen akım derinlikleri deneysel çalışmada ölçülen akım derinlikleri ile kıyaslanmıştır.

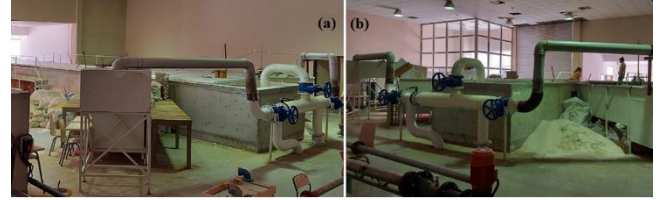
Deney Düzenegi ve Deneysel Yöntem

Akarsu kavşaklarında akım derinliklerinin incelendiği bu çalışmada deneyler, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Ana kanal için 12 m uzunluğunda, 2 m genişliğinde dikdörtgen kesitli kanal kullanılmıştır. Yan kollar ise 4 m uzunluğunda ve 1 m genişliğindedir. Simetrik olan yan kollar 90° 'lik açı ile birbirine bağlanmaktadır (Şekil 4 ve Şekil 5). Deneyler için gereken su bodrum katta bulunan su deposundan sağlanmıştır. 24 m^3 kapasiteli bu depoya bağlı iki hat üzerinde birer santrifüj pompa bulunmakta olup her bir

hat yan kollara su iletmek için birbirinden bağımsız çalışabilmektedir. Kanala çıkan su kanal mansabında bulunan savaktan metal borular aracılığı ile bodrum kattaki su deposuna geri gelmektedir [3].



Şekil 4. Deney düzenegi plan görünümü (uzunluklar cm olarak verilmiştir).



Şekil 5. Deney düzenegi (a) sol görünüşü, (b) sağ görünüşü [3].

Sağ yan koldaki debi ayarı debimetre cihazı ile yapılmış, sol yan kol debi ayarı ise dikdörtgen savak yardımıyla yapılmıştır. Bu savağa gelen debi hesabı denklem 6 ile verilen Rehbock dikdörtgen savak formülü ile yapılmıştır.

$$Q = c_d \frac{2}{3} \sqrt{2gb_s} h_a^{3/2} \quad (6)$$

Burada h_a dikdörtgen savak akan su yüksekliği, h_s dikdörtgen savak dolu su yüksekliği, b_s savak genişliği, g yer çekimi ivmesi, Q debi, c_d Rehbock formülü debi katsayısıdır.

Bu katsayıya ait kullanılan denklem,

$$c_d = 0,602 + 0,083 \frac{h_a}{h_s} \quad (7)$$

Bu çalışma kapsamında farklı debilerde ve farklı mansap akım derinliklerinde 10 adet deney gerçekleştirilmiştir.

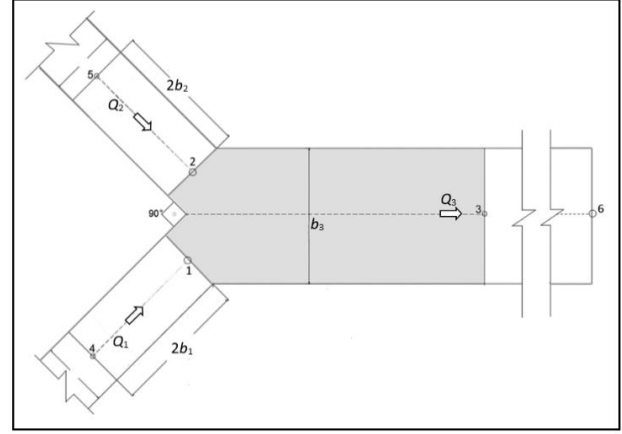
Deneysel Yöntem ve Bulgular

Deney düzenegi üzerinde ölçüm noktalarının yerleri ve denklem (5)'in uygulanacağı kontrol hacmi Şekil 6'da sunulmuştur. Yan kolların memba ve mansap noktalarında yan kola akım özelliklerinin elde edileceği ölçüm noktaları (4) ve (5) numaralı noktalar $2b_1 = 2b_2 = 2$ m olarak hesaplanmıştır [15], [17]. Ana kanal mansabındaki kontrol

noktası (6) numaralı nokta olup $x=11,105$ m'de yer almaktadır. Kontrol hacmi sınırlarında (5) nolu varsayımın yapılabilmesi için mansap sınırının ayrılma bölgesi dışında tutulması gerekmektedir. Kavşak mansap sınırının koordinatları belirlenmesinde ayrılma bölgesi genişliği W , ve uzunluğu, L , için Best ve Reid, (1984) tarafından önerilmiş denklemler dikkate alınmıştır. Best ve Reid (1984) çalışmasını asimetrik kavşaklar için gerçekleştirmişlerdir. Simetrik kavşaklar için bu denklemler uygulanırken simetrik kavşağın iki asimetrik kavşaktan oluştuğu düşünülerek kavşak açısı 45° , yan kol debisinin toplam debiye oranı olan $N_q = 1$ alınmıştır. Kavşak genişliği yan kol debilerine göre ağırlıklı olarak bölüştürülmüştür. Ayrılma bölgesi genişliği 18 cm – 35 cm arasında, uzunluğu 90 cm – 180 cm arasında hesaplanmıştır. Bu uzunluklar Pandey ve Mishra (2012) ve Coelho (2015) $3b_3$ ve $2b_3$ olarak önermiş ve bu çalışmada 6 m ve 4 m hesaplamıştır. Bu çalışmada (3) nolu ölçüm noktasının kavşak köşesine olan uzaklığı 4,105 m olarak alınmış olup yan kollardaki (1) ve (2) nolu noktaları 2 m mesafede yer almaktadır. Deneyler kapsamında bu noktalarda ölçümler yan kollar ve ana kanal duvarları üzerinde bulunan arabaya bağlı limnometre ile yapılmıştır.

Yan kollar için aynı, farklı debiler ve farklı mansap akım derinliklerine bağlı olarak gerçekleştirilmiş deneylere ait

özellikler Tablo 1'de sunulmuştur. Burada Q_1 sağ yan kol debisi, Q_2 sol yan kol debisi, Q_3 ana kanal toplam debisidir. Mansap kapağı çeşitli yüksekliklerde ayarlanarak kavşak mansabındaki ana kanaldaki akım derinlikleri değiştirilmiş olup ölçülmüş akım derinlikleri, h_4 , h_5 , h_6 ve hesaplanan Froude sayıları aynı tabloda yer almaktadır. Çalışma kapsamındaki tüm deneyler nehir rejiminde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Birleşim bölgesi kontrol hacmi [3].

Tablo 1. Çalışma kapsamında deney setindeki parametreler ve değerleri.

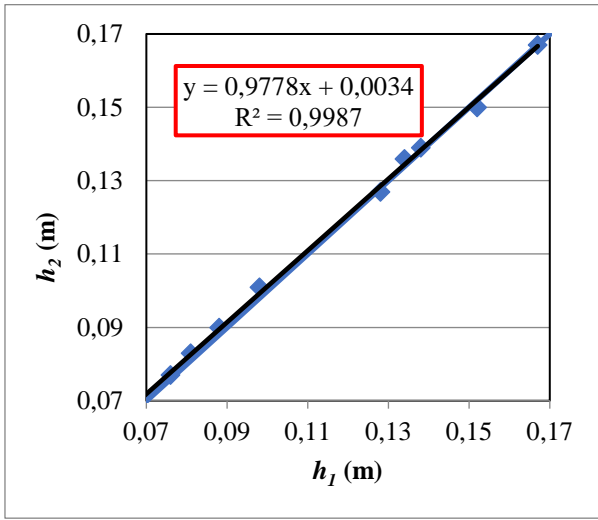
	Q_1 (l/s)	Q_2 (l/s)	Q_3 (l/s)	Q_1/Q_3	Q_2/Q_3	Q_1/Q_2	h_4 (cm)	Fr_4	h_5 (cm)	Fr_5	h_6 (cm)	Fr_6
1	20	20	40	0,50	0,50	1,0	0,082	0,27	0,079	0,57	7,65	0,30
2	20	20	40	0,50	0,50	1,0	0,139	0,12	0,137	0,25	13,55	0,13
3	20	20	40	0,50	0,50	1,0	0,169	0,09	0,166	0,19	16,40	0,10
4	30	20	50	0,60	0,40	1,5	0,092	0,23	0,091	0,58	8,20	0,34
5	30	20	50	0,60	0,40	1,5	0,138	0,13	0,135	0,32	13,10	0,17
6	30	20	50	0,60	0,40	1,5	0,154	0,11	0,154	0,26	15,25	0,13
7	40	20	60	0,67	0,33	2,0	0,104	0,19	0,102	0,59	9,15	0,35
8	10	10	20	0,50	0,50	1,0	0,059	0,22	0,057	0,47	5,10	0,28
9	10	10	20	0,50	0,50	1,0	0,078	0,15	0,078	0,30	7,30	0,16
10	10	10	20	0,50	0,50	1,0	0,129	0,07	0,128	0,14	12,45	0,07

Tablo 2. Deneysel çalışmada elde edilen akım derinlikleri.

No	h_1 (m)	h_2 (m)	h_3 (m)	$h_{denklem}$ (m)	Π_{1x} (N)	Π_{*x} (N)	Π_{2x} (N)	Π_{**x} (N)	Π_3 (N)	M_{1x} (N)	M_{2x} (N)	M_3 (N)
1	0,081	0,083	0,079	0,081	22,48	10,34	22,48	8,32	60,45	3,51	3,51	10,19
2	0,138	0,139	0,138	0,138	66,15	30,43	66,15	24,47	185,47	2,05	2,05	5,82
3	0,167	0,167	0,169	0,169	98,91	45,50	98,91	36,60	278,53	1,67	1,67	4,75
4	0,088	0,090	0,087	0,089	27,39	12,60	27,39	10,13	73,40	7,16	3,18	14,45
5	0,134	0,136	0,134	0,135	63,13	29,04	63,13	23,36	176,15	4,72	2,10	9,33
6	0,152	0,150	0,155	0,155	83,51	38,41	83,51	30,90	234,17	4,10	1,82	8,09
7	0,098	0,101	0,095	0,097	32,84	15,11	32,84	12,15	88,54	11,63	2,91	18,95
8	0,057	0,058	0,055	0,056	10,88	5,00	10,88	4,03	29,68	1,26	1,26	3,64
9	0,076	0,077	0,077	0,077	20,56	9,46	20,56	7,61	57,41	0,92	0,92	2,61
10	0,128	0,127	0,127	0,127	56,07	25,79	56,07	20,75	158,23	0,56	0,56	1,57

Kontrol hacmi sınırında bulunan noktalarda ölçülmüş akım derinlikleri Tablo 2’de verilmiştir. Tabloda ayrıca denklem (5) kullanılarak elde edilen (1) ve (2) noktalarındaki akım derinliği $h_{denklem}$ ile denklem içeriğindeki terimlerin aldığı değerler de verilmiştir.

Kavşak birleşim açısı 90° olan deneysel çalışmada kavşak kontrol hacmi membalarına ait, Tablo 2’de verilen h_1 ve h_2 akım derinlikleri için oluşturulan grafik, Şekil 7’de verilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere h_1 ve h_2 akım derinliklerinin oranı 0,9987 olarak bulunmuştur ve birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Buradan denklem (5)’in çıkarılışında yapılmış (6) nolu varsayımın geçerli olduğu görülmüştür.



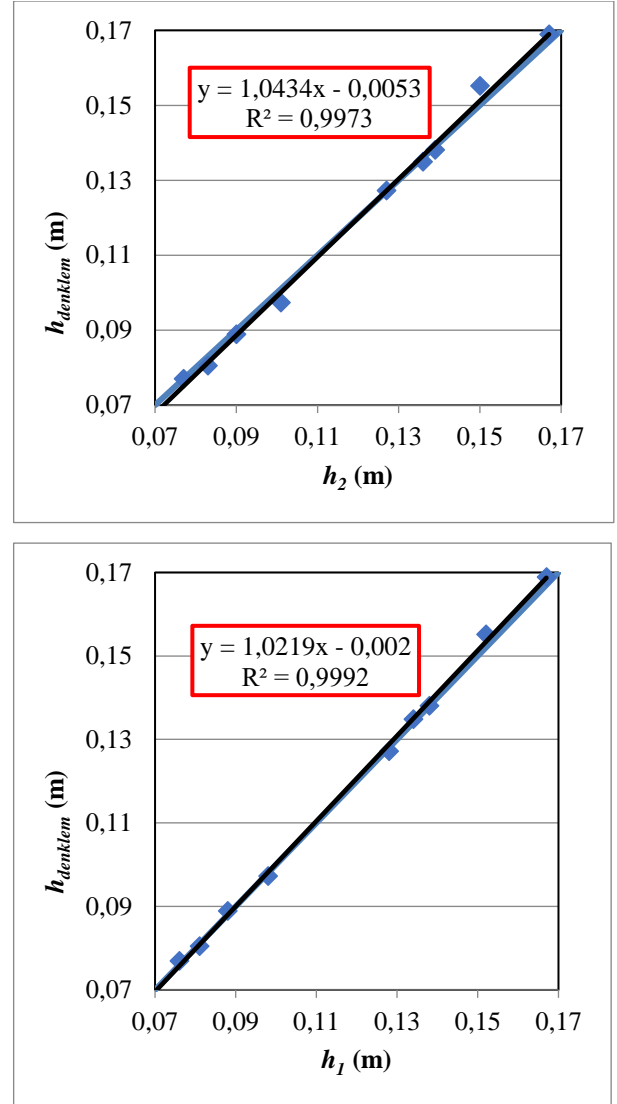
Şekil 7. Kavşak kontrol hacmi akım derinliklerine ait oran (Deneysel veriler).

Denklem (5) kullanılarak hesaplanan (1) ve (2) noktalarındaki akım derinliği ($h_{denklem}$) ile ölçülen h_1 ve h_2 akım derinlikleri arasındaki hata payı %’lik fark şeklinde Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Deneysel çalışma ve momentum denkleminde elde edilen akım derinlikleri ve %’lik farklar.

No	h_1 ve h_2 farkı (%) (h_1-h_2)/ h_1	h_1 ve $h_{denklem}$ farkı (%) ($h_1-h_{denklem}$)/ h_1	h_2 ve $h_{denklem}$ farkı (%) ($h_2-h_{denklem}$)/ h_2
1	2,469	2,469	4,819
2	0,725	0	0,719
3	0	1,198	1,198
4	2,273	1,136	3,333
5	1,493	0	1,471
6	1,316	1,974	3,333
7	3,061	3,061	5,941
8	1,754	3,509	5,172
9	1,316	1,316	0
10	0,781	0,781	0

Deneysel verilerden elde edilmiş olan h_1 ve h_2 değerleri ile denklem (5) ile elde edilen akım derinliği değerlerinin karşılaştırılması sırasıyla Şekil 8.a ve 8.b’de verilmiştir.



Şekil 8. Kavşak kontrol hacmi (a) 1 nolu nokta ve (b) 2 nolu nokta için akım derinliği oranları.

Bu çalışmada durum A için yapılmış (6) numaralı varsayımda AB ve DE kesitlerindeki akım derinlikleri eşit alınmıştır. Şekil 3.a’da C noktası durgunluk noktası olarak adlandırılmakta olup burada akım derinliğinin hız yüksekliği kadar artması söz konusudur. AB ve DE kesitlerinde akım derinliğinin sırasıyla $(2h_1 + U_1^2/2g)/2$ ve $(2h_2 + U_2^2/2g)/2$ alınması durumunda Π_{*x} ve Π_{**x} değerleri ortalama %3,6 ve %4,9 farklı olmuştur. Bu fark kabul edilebilir mertebede olup yapılmış varsayımın geçerliliğini göstermektedir.

Sonuçlar

Kanal kavşakları açık kanal hidroliğinde önemli bir yere sahiptir. Bu yüzden bu bölgedeki akım yapısının durumu iyi bilinmelidir. Bu çalışma akarsu kavşak bölgesi birleşim

membalarındaki akım derinliklerinin incelenmesi üzerine yapılmıştır. Geçmiş çalışmalarda farklı kavşak geometrileri üzerine yapılmış çalışmaların her biri için ayrı denklemler düzenlenmiştir. Bu çalışmada simetrik ve asimetric kavşaklar için farklı kavşak açılarındaki birleşimler ve farklı geometrik durumlar için genel olarak bir denklem yazılmış ve bir dizi deney yapılarak nehir rejimi koşullarında deneysel sonuçlar ile hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Deney koşullarında ve yapılmış varsayımlar ile hesaplanan ve ölçülen akım derinliklerinin birbirine yakın mertebede olduğu görülmüştür. Buna ek olarak kavşak birleşim membarlarında akım derinliklerinin eşitliği varsayımı doğrulanmıştır.

Teşekkür

Bu araştırma, 2017-T2L-FEBE-0041 ve 2017-T2L-FEBE-0042 nolu projelerin desteği ile imal edilen deney düzeneği üzerinde yapılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Akarsu Kavşağı Tanımı, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Akarsu>,” internet sitesinden alıntı.
- [2] Canıbek C., “Akarsu Kavşaklarında Akım Derinliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, 2021.
- [3] Eyhan M., “Akarsu Kavşaklarında Taban Kotu Eşitsizliği Durumunda Akım Derinliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, 2021.
- [4] Best J., “Flow Dynamics at River Confluences: Implications for Sediment Transport and Bed Morphology,” Recent Development in Fluvial Sedimentology, SEPM Spec. Publ. 39, F.G. Etheridge, R.M. Flores, and M.D. Harvey, eds., (1987); 27-35.
- [5] Taylor E. H., “Flow Characteristics at Rectangular Open Channel Junctions,” Transactions of ASCE, 1944; 109, 893–912.
- [6] Hager W. H., “Separation Zone at Open-Channel Junctions,” 1987; 113(4), 539-543.
- [7] Webber N. B., ve Greated C. A., “An Investigation of Flow Behavior at the Junction of Rectangular Channels,” Proc., Inst. Civ. Engrs., London, England, 1966; 34, 321-334.
- [8] Best J., ve Reid I., “Separation Zone at Open Channel Junctions,” J. Hydr. Engrg., ASCE, (1984); 1588-1594.
- [9] Hager, W. H., “Verlustbeiwerte in Röhren und Gerinnen,” Wasser-Energie-Luft, Vol. 76, 1984, pp. 253-261.
- [10] Hsu C. C., Wu F. S. ve Lee W. J., “Flow at 90° Equal-width Open Channel Junction,” J. Hydr. Engrg., ASCE, 1998a; 124(2), 186-191.
- [11] Yang Q. Y., Wang X. Y., Lu W. Z., ve Wang X. K., “Experimental Study on Characteristics of Separation Zone in Confluence Zones in Rivers”, Journal of Hydrologic Engineering, (2009); 14(2):166-177.
- [12] Gurram S. K., Karki K. S., ve Hager W. H. “Subcritical Junction Flow,” J. Hydr. Engrg., ASCE, 1997; 123(5), 447-455.
- [13] Hsu C. C., Wu F. S., ve Lee W. L., “Flow at 90° Equal-Width Open-Channel Junction,” J. Hydraul. Eng., 1998b; 124(2), 186-191.
- [14] Weber, L. J., Schumate, E. D., ve Mawer, N., “Experiments on Flow at a 90° Open-Channel Junction,” Journal of Hydraulic Engineering, 2001; 127, 340–350.
- [15] Coelho M. M. L. P., “Experimental Determination of Free Surface Levels at Open Channel Junctions,” Journal of Hydraulic Research, 2015; 394-399.
- [16] Carballada L., Wuach T. T., Marche C., ve Ramamurthy A. S., “Modele de junction des rivieres,” Proc., 19th IAHR Congr., 1981; 2(A7), 237-280 (Fransızca).
- [17] Pandey A. ve Mishra R., “Comparison of Flow Characteristics at Rectangular and Trapezoidal Channel,” Journal of Physics: Conference Series 364, 2012; 012141.



A Practical Approach to Implement Releases and Partial Fixities in Finite Elements Using Already Existing Stiffness Equations

Murat Yılmaz^{1*}

¹ Istanbul Technical University, Department of Civil Engineering, yilmazmura@itu.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-5895-7839

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 March 2022
Received in revised form 29 July 2022
Accepted 30 July 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Finite Element Method, Releases, Partial Fixities, Stiffness Equations, Practical Approach

Doi: 10.24012/dumf.1092538

* Corresponding author

ABSTRACT

The usefulness of Finite Element (FE) models for many engineering purposes depends on the element's ability to support a variety of end-connection types including releases and partial-fixities. However, adding such features to a FE model would require additional theoretical effort in the element development process. Alternatively, zero-length external connector-elements can be used in the mesh structure, but this will complicate both mesh definition and assemblage operations. This study shows that the existing stiffness equations of any FE model with regular rigid connections can be effectively employed to automatically define both end-releases and end-partial-fixities by simply applying a basic matrix-equation modification process without the need for any additional theoretical development on the element itself. Our process can be summarized in three basic steps. Firstly, element equations are separated from the system equation by defining element's own degree-of-freedom (DOFs). Secondly, elastic springs are introduced between the element and the system. Finally, the element is merged back into the system by eliminating its newly defined DOFs from the emerged equations. It has been verified by examples that, using these steps results in a new set of element equations with the desired end-releases/partial fixities and can be used in custom FE models.

Introduction

The Finite Element Method (FEM) is a very popular, even industry standard, method used to solve many different engineering problems. Within the scope of the method, it is possible to develop different element models for different problem types. However, there exist edge cases that require the fulfillment of special conditions that must be satisfied in the problem domain and/or boundaries. For example, it is nearly impossible to perform a realistic structural analysis with FEM without the use of special end connections, especially without releases and/or partial-fixities (R/PFs). This is mostly because the support conditions and element connections are far from ideal in most cases [1]. Bridges [2], multistorey buildings [3], truss and precast structures [4, 5], aircraft wings [6], wearable structures [7], furniture construction [8] are among many others that detailed analysis is carried out using R/PFs while also proving that these connections have a big impact on the overall structural behavior [9, 10]. In this context, R/PFs have also been an important element of various structural design [11, 12, 13, 14] and structural optimization [15, 16, 17, 18] studies.

The theory and applications of R/PFs in 1D elements are essentially well known. [19] is one of the earliest papers to incorporate R/PFs into the matrix stiffness method. [20]

proposed the use of connection elements for R/PFs to establish connection effects. [21] used element's stiffness equations and [22] used energy approach to merge R/PFs into the target 1D element. Both provided solution only for rotational degree of freedom DOFs. In [23], existing stiffness equations are used to introduce rotational R/PFs into a beam element. [24] briefly mentioned a simple formulation of 1D elements with all DOFs connected to the system via springs. More advanced applications, inter-element connections [25] and closed form solutions [26] are also available. A good overview of the literature on R/PFs is given in [27] under the nomenclature of semi-rigid connections.

Custom software developments for R/PFs applications are also implemented in [27, 28, 29]. In [30], a new software is presented for the analysis of body-in-white structures consisting of a custom super beam element to simulate the joint flexibility of the rods. In practice, most commercial software has built-in support for R/PFs in 1D elements. Even if the software does not support, it is always possible to perform the calculations by separating the nodes and adding spring-equivalent elements between them. Although relatively difficult to implement, such a method is used in this paper for verification purposes.

The reason why we revisit such a well-studied and old topic is that, we feel it is a shortcoming that R/PFs is only addressed as a 1D element specific issue in the literature. The main objective of this paper is to bring a different perspective to the practical application of R/PFs on custom FE models. In doing so, we include a more detailed inference of the method with a simple but generic formulation. In addition, we present numerical error control strategies and the usability of the method in elasticity elements, with theoretical explorations and sample analysis.

Material and methods

A general FE equation can be written in its well-known compact form as given in Equation (1)

$$[K]U = B + Q \tag{1}$$

where $[K]$ represents the element stiffness matrix, U is the DOF vector which corresponds to the main unknowns of the problem (displacements of the system nodes in structural analysis) and B and Q are the body force vector and the boundary force vector respectively.

In order to separate the element from the rest of the system we define the independent equation of the element based on its own variables as given in Equation (2).

$$[K]U = B + Q \tag{2}$$

In the equation, U and Q are the element’s newly defined DOF vector and boundary force vector respectively. Fig. 1 shows one of the nodes of the element, which is to be connected back to the system via elastic springs.

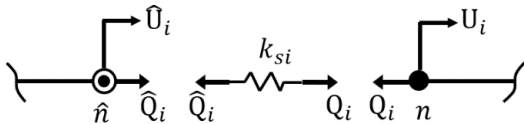


Figure 1. Disconnecting an element node from the system and inserting a spring between them (\hat{n} : Element node. n : System node).

Since the element is left with its own DOFs, Q remains the only way to interact with the element. Based on Fig. 1, one can re-integrate the element into the system with elastic springs considering the corresponding spring equilibrium and constitutive equations given in Equation (3)

$$Q_i = \hat{Q}_i = k_{si}(U_i - \hat{U}_i) \tag{3}$$

and re-writing the element equation in the following form as shown in Equation (4).

$$[K]U = B + [k_s](U - U) \tag{4}$$

Here, $[k_s]$ is the diagonal matrix that includes the spring coefficients for the corresponding DOFs. As an example,

Fig. 2 illustrates a frame element that is re-integrated to the system with different springs assigned for each DOF.

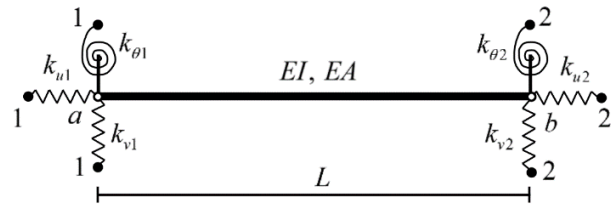


Figure 2. Beam element with end-springs [9].

In the figure, a and b represent the element’s own independent nodes and the numbers 1 and 2 represent the corresponding system nodes (Note: System nodes with the same number are the same points, drawn as separate points for clarity of shape). Applying the Equation (4) on the frame element yields the following explicit form of the element equation, as given in Equation (5).

$$[K] \begin{Bmatrix} \hat{u}_a \\ \hat{v}_a \\ \hat{\theta}_a \\ \hat{u}_b \\ \hat{v}_b \\ \hat{\theta}_b \end{Bmatrix} = B + \begin{Bmatrix} k_{u1}(u_1 - \hat{u}_a) \\ k_{v1}(v_1 - \hat{v}_a) \\ k_{\theta1}(\theta_1 - \hat{\theta}_a) \\ k_{u2}(u_2 - \hat{u}_b) \\ k_{v2}(v_2 - \hat{v}_b) \\ k_{\theta2}(\theta_2 - \hat{\theta}_b) \end{Bmatrix} \tag{5}$$

In order to retain the original form of the element equation (the form that contains only the system DOFs), we first solve U from the Equation (4) as

$$U = [K_s](B + [k_s]U) \tag{6}$$

Here, $[K_s]$ takes the following form.

$$[K_s] = ([K] + [k_s])^{-1} \tag{7}$$

Equation (7) can be transformed into an equivalent but more convenient expression, as given in Equation (8).

$$[K][K_s] + [k_s][K_s] = [I] \tag{8}$$

Next, we consider the equilibrium of the spring as $Q = Q$ and substitute Equation (6) into Equation (2). Using Equation (8) for the final adjustments, the new stiffness equation given in Equation (9) is obtained for the element with embedded springs on its ends.

$$[K][K_s][k_s]U = [k_s][K_s]B + Q \tag{9}$$

Note that using Equation (9), end springs can be easily attached to any FE model, not just 1D elements. The remainder of the text deals with the details of the practical use of the equation.

Implementation details and error control

The simplest application of Equation (9) is the axial bar element where there exist only two DOFs. Such an element's well-known stiffness equation is as follows.

$$\begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & -\frac{EA}{L} \\ \frac{EA}{L} & \frac{EA}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{Bmatrix} \quad (10)$$

Elastic springs can be defined on both DOFs with the matrix given in Equation (11).

$$[k_s] = \begin{bmatrix} k_{u1} & 0 \\ 0 & k_{u2} \end{bmatrix} \quad (11)$$

By applying Equation (9), the new element stiffness matrix can be obtained as

$$[K][K_s][k_s] = \begin{bmatrix} \frac{\alpha EA}{\alpha L + \beta EA} & -\frac{\alpha EA}{\alpha L + \beta EA} \\ -\frac{\alpha EA}{\alpha L + \beta EA} & \frac{\alpha EA}{\alpha L + \beta EA} \end{bmatrix} \quad (12)$$

and the new body force vector as

$$[k_s][K_s]\mathbf{B} = \begin{Bmatrix} \frac{\alpha LB_1 + k_{u1}EA(B_1 + B_2)}{\alpha L + \beta EA} \\ \frac{\alpha LB_2 + k_{u2}EA(B_1 + B_2)}{\alpha L + \beta EA} \end{Bmatrix} \quad (13)$$

where;

$$\alpha = k_{u1}k_{u2}, \quad \beta = k_{u1} + k_{u2} \quad (14)$$

It is easy to verify that the new element equation converges to its original rigid-connected form, by taking limits in the Equation (15).

$$\begin{aligned} \lim_{k_{u1}, k_{u2} \rightarrow \infty} ([K_s][k_s]) &= [I], \\ \lim_{k_{u1}, k_{u2} \rightarrow \infty} ([k_s][K_s]) &= [I] \end{aligned} \quad (15)$$

For an exact stiffness equation, Equation (9) can be used directly only when the numerical values of all spring coefficients are known (including releases with 0 (zero) stiffness). If one or more connections are rigid, then the limit operation must be applied for the respective spring-coefficients. The result of such a limit for the case where the left side of the axial bar is rigid and the right side has an elastic connection is given below as an example by Equations (16) and (17).

$$[K][K_s][k_s] = \begin{bmatrix} \frac{k_{u2}EA}{EA + k_{u2}L} & -\frac{k_{u2}EA}{EA + k_{u2}L} \\ -\frac{k_{u2}EA}{EA + k_{u2}L} & \frac{k_{u2}EA}{EA + k_{u2}L} \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$[k_s][K_s]\mathbf{B} = \begin{Bmatrix} \frac{k_{u2}LB_1 + EA(B_1 + B_2)}{EA + k_{u2}L} \\ \frac{k_{u2}LB_2}{EA + k_{u2}L} \end{Bmatrix} \quad (17)$$

The disadvantage of solving the problem with the limit operation is evident in computer implementations, since one must consider all different sets of exact stiffness equations for all possible connection types. To overcome this difficulty and implement the problem in a more practical way, the spring coefficients at the rigid ends can be adjusted to large numerical values to obtain an approximate result of the limit operation, such that;

$$k_{u1}, k_{u2} \gg \gamma \frac{EA}{L}, \quad \gamma = 10^4 \quad (18)$$

This approach is evident from the rearrangement of the first stiffness term of Equation (12) as follows.

$$K_{11} = \frac{EA}{L + (\beta/\alpha)EA} \quad (19)$$

Equation (19) indicates that a good approximation of the fully-rigid connection case can be achieved by choosing the numerical values of the spring coefficients according to the inequality given in Equation (20).

$$L \gg \frac{\beta}{\alpha}EA \quad \rightarrow \quad \frac{\alpha}{\beta} = \frac{k_{u1}k_{u2}}{k_{u1} + k_{u2}} \gg \frac{EA}{L} \quad (20)$$

This inequality is automatically satisfied by setting the spring coefficients to large numerical values, as suggested in Equation (18). To verify this, one can substitute the suggested values into Equation (20) and find that $\gamma \gg 2$.

A similar approach can be used for the mixed connection cases. Such examples are investigated in the next section.

More implementation details

As a more comprehensive example for different connection types, we selected the well-known 2D frame element that is already depicted in Fig. 2 of the previous section. The short version of the stiffness matrix of that frame with rigid connections has the form given in Equation (21).

$$\begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} q_x L/2 \\ q_y L/2 \\ \frac{q_y L^2}{12} \end{Bmatrix} + \mathbf{Q} \quad (21)$$

To illustrate the strength and usefulness of the proposed method, we define an elastic rotational spring with $k_{\theta 2}$ at

the right end of the element. For this, it will be sufficient to apply the following limit operations given in Equation (22)

$$\lim_{k_{u1}, k_{u2}, k_{v1}, k_{v2}, k_{\theta 1} \rightarrow \infty} ([K][K_s][k_s]), \quad (22)$$

$$\lim_{k_{u1}, k_{u2}, k_{v1}, k_{v2}, k_{\theta 1} \rightarrow \infty} ([k_s][K_s]B)$$

which yields the stiffness matrix given in Equation (23)

$$\begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI(EI + k_{\theta 2}L)}{L^3(4EI + k_{\theta 2}L)} & \frac{6EI(2EI + k_{\theta 2}L)}{L^2(4EI + k_{\theta 2}L)} \\ 0 & \frac{6EI(2EI + k_{\theta 2}L)}{L^2(4EI + k_{\theta 2}L)} & \frac{4EI(3EI + k_{\theta 2}L)}{L(4EI + k_{\theta 2}L)} \end{bmatrix} \quad (23)$$

and the body force vector given in Equation (24).

$$[k_s][K_s]B = \begin{Bmatrix} q_x L/2 \\ \frac{q_y L(5EI + k_{\theta 2}L)}{8EI + 2k_{\theta 2}L} \\ \frac{q_y L^2(6EI + k_{\theta 2}L)}{12(4EI + k_{\theta 2}L)} \\ \vdots \end{Bmatrix} \quad (24)$$

It is easy to see that, end releases can also be defined by setting $k_{\theta 2} = 0$ in the matrices above, as shown in Equation (25).

$$\begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3EI}{L^3} & \frac{3EI}{L^2} \\ 0 & \frac{3EI}{L^2} & \frac{3EI}{L} \end{bmatrix} \mathbf{U} = \begin{Bmatrix} q_x L/2 \\ 5q_y L/8 \\ \frac{q_y L^2}{8} \\ \vdots \end{Bmatrix} + \mathbf{Q} \quad (25)$$

As can be deduced from the given examples, the element equation of any end connection type is fairly easy to derive. However, as mentioned before, it would be more practical to carry out these calculations numerically in computer practice. The algorithm of such an application is depicted in Fig. 3.

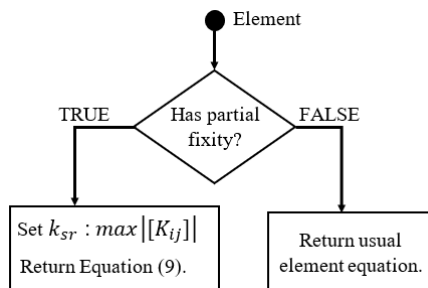


Figure 3. Numerical evaluation of a mixed type end-connection case.

Here, k_{sr} represents the selected numerical values for the rigid connections. The algorithm suggests a relatively conservative selection for the numerical values as they are set to the maximum absolute value extracted from the element stiffness matrix. We observed in the examples that selecting $k_{sri} \gg \gamma K_{ii}$ is more than enough for acceptable numerical results.

2D Frame example

As a more comprehensive example, we selected a 2D Frame structure with different types of partial-fixities/releases at different end locations as depicted in Fig 4.

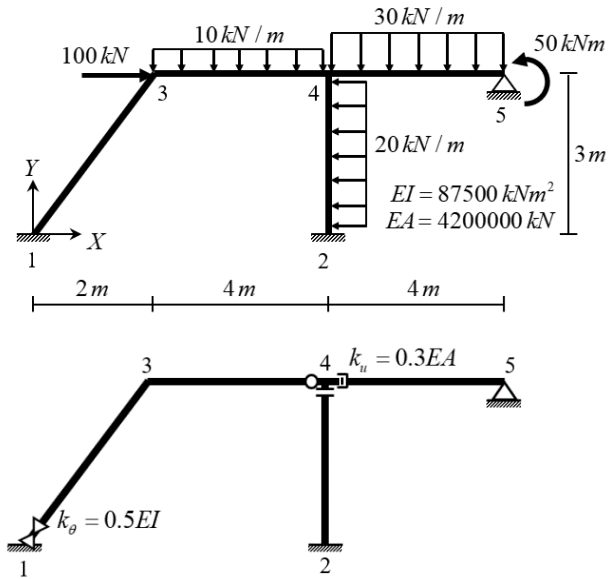


Figure 4. A 2D Frame structure with various types of external loadings, boundary conditions and end-springs and releases cases (Note: Top figure: loading conditions. Bottom figure: Releases and partial fixities).

According to the figure, two end-releases (moment and shear in elements 3-4 and 2-4 respectively) and two partial fixities (moment and axial fixities in elements 1-3 and 4-5) are placed in the structure. In the analysis, the numerical values of the rigid-end springs are chosen to be 10000 times the maximum values of the element stiffness coefficients. The results obtained by Equation (9) are compared with commercial software SAP2000 V18.2.0 [31] as shown in Table 1.

Table 1. Horizontal displacements and moment support reactions of the 2D Frame structure with releases and partial fixities.

Horizontal Disp.[mm]	Proposed Method	SAP2000 V18.2.0
Node #3	0.310702	0.310670
Node #4	0.201032	0.201022

Moment Reactions [kNm]	Proposed Method	SAP2000 V18.2.0
Node #1	2.0165	2.0161
Node #2	-43.4482	-43.4480

The results indicate that accuracy can be obtained at the level of the selected magnification factor.

Elasticity element example (plane-stress)

In order to demonstrate that the proposed method can be used for other element types, an example application will be given on the well-known plane stress element. The virtual work equation of the element is given in Equation (26).

$$\iint_A \delta \mathbf{u}^T \cdot \boldsymbol{\sigma} h dA = \iint_A \delta \mathbf{u}^T \cdot \mathbf{b} h dA + \oint \delta \mathbf{u}^T \cdot \mathbf{q} dL \quad (26)$$

The first two integrals form the stiffness matrix and the body force vector, respectively. h : is the thickness and \mathbf{q} represents the distributed boundary force per unit length of the edges. The essential term, which is important here for the purposes of this study, is the boundary integral term (the last integral) which forms the boundary force vector \mathbf{Q} of the FE model.

Fig. 5 depicts the discretization of an elastic edge spring based on the discretization of the uniformly distributed \mathbf{q} .

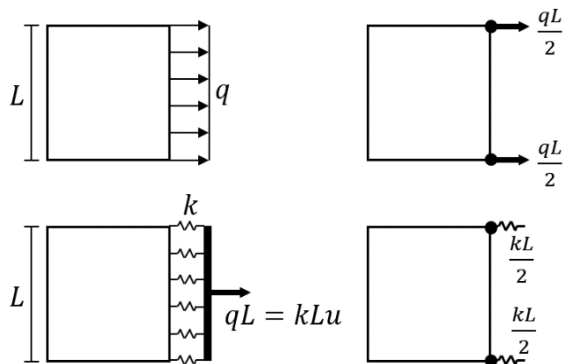


Figure 5. Discretization of a continuous edge spring in a plane element (Note: $u = 1$).

The figure suggests that, a continuous spring (spring-constant per unit length) can be discretized just like \mathbf{q} .

The selected plane-stress problem is shown in Fig. 6. An irregular mesh is used to include the effects of all possible variables in the problem. Body forces are also included as self-weight. The elastic spring connection is inserted only in the horizontal direction. Vertical connection between the parts is rigid.

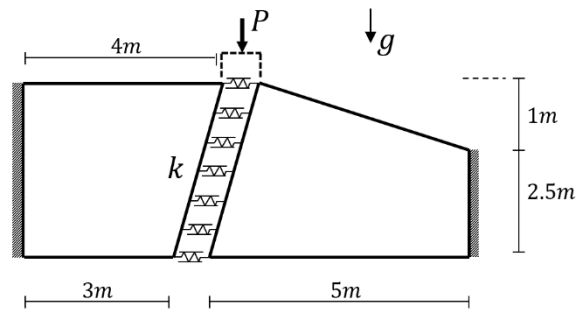


Figure 6. Two plane-stress elements connected to each other by horizontal elastic springs ($P = 1000 \text{ kN}$).

Spring coefficient, thickness, elasticity modulus, Poisson's ratio and unit weight are selected as; $k = 68680.282 \text{ kN/m}$, $h = 0.01\text{m}$, $E = 70\text{GPa}$, $\nu = 0.3$ and $\rho_w = 77 \text{ kN/m}^3$.

Based on the spring discretization mentioned, the classical FE model of the system can be set up as shown in Fig. 7.

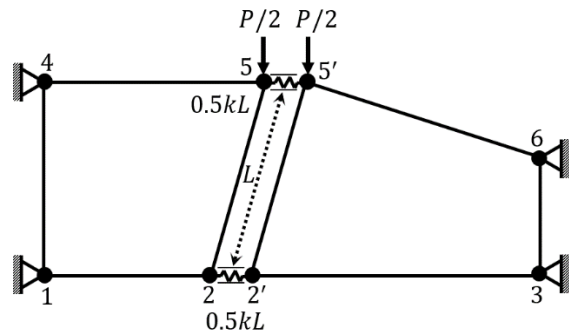


Figure 7. Classic FE model of the example ($kL = 250000 \text{ kNm/m}$).

In order to implement the classical method, node points that coincide with the elastic connection region must first be separated from each other. Then, springs or equivalent truss elements should be placed between these nodes. As these points are separated, they will move independently in the vertical direction. In order to prevent this, constraints must be defined to enforce the vertical displacement equivalence between these nodes as a final processing step.

However, instead of all these steps, the method described in this study provides a very practical solution to the problem, as depicted in Fig 8.

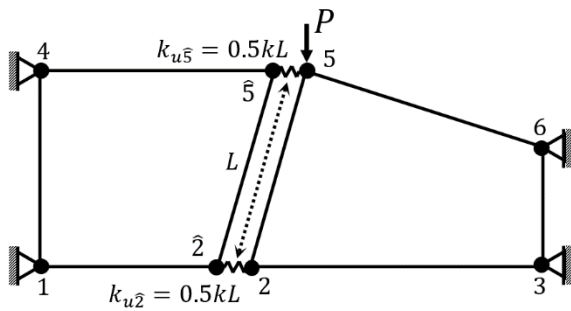


Figure 8. FE model of the proposed method ($kL = 250000 \text{ kNm/m}$).

Note that, in the proposed method the original system mesh is preserved as the springs are embedded directly in the element on the left (see the local nodes of the element $\hat{5}$ and $\hat{2}$). This embedding can be easily accomplished by defining the matrix $[k_s]$ containing the increased stiffnesses for rigid connections and the actual spring constants for elastic ones. Afterwards, it will be sufficient to perform the analysis using Equation (9) for the left element (see the diagram previously given in Fig. 3). The same procedure could be followed similarly for the element on the right, which would yield the same numerical results. It should also be noted that there is no need to define extra constraints for the vertical direction as the system DOFs are already preserved.

The analysis results of both methods are given in Table 2. In order to verify the results in SAP2000 [31], one should turn-off the so called “incompatible modes” of the plane element, which is active by default in the software.

Table 2. Analysis results for the elastic interconnected plane-stress problem ($\gamma = 10000$).

(SAP2000 results are obtained with the classical FE model and without incompatible modes).

Vert. Disp. [mm]	Proposed Method	SAP2000 V18.2.0
Node #2	-2.48091	-2.48067
Node #5	-3.31569	-3.31542

Support React. Horiz. [kN]	Proposed Method	SAP2000 V18.2.0
Node #1	450.447	550.423
Node #3	-374.517	-374.547
Node #4	-388.572	-388.545
Node #6	312.641	312.669

Support React. Vert. [kN]	Proposed Method	SAP2000 V18.2.0
Node #1	299.642	299.653
Node #3	414.707	414.682
Node #4	283.199	283.158
Node #6	22.490	22.525

One last example (plane-stress)

Fig. 9 shows a plane-stress beam connected at its midline by horizontal-springs (vertically rigid).

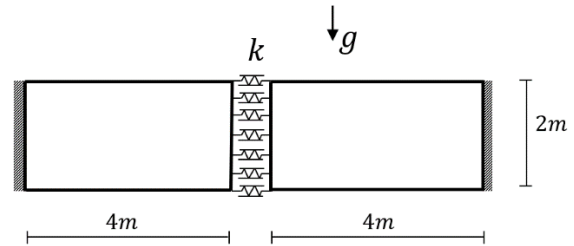


Figure 9. A 2D beam connected by a horizontal continuous elastic spring.

Spring coefficient, thickness, elasticity modulus, Poisson’s ratio and unit weight are selected as; $k = 100000 \text{ kN/m}$, $h = 0.01\text{m}$, $E = 70\text{GPa}$, $\nu = 0.3$ and $\rho_w = 77 \text{ kN/m}^3$.

The beam is loaded only by its own weight. Fig. 10 shows the displacement and stress fields obtained in three different analyses for a selected 40x10 FE mesh.

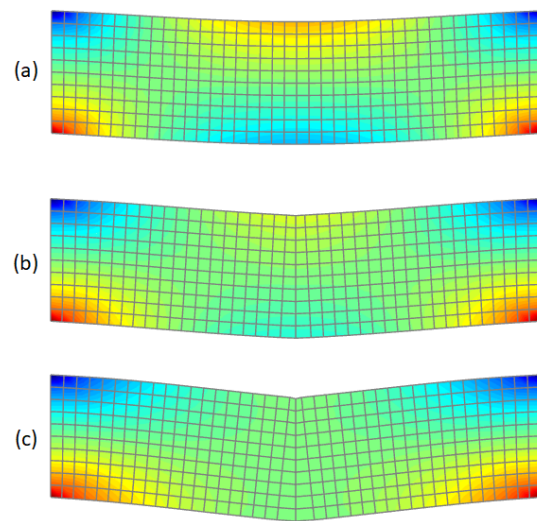


Figure 10. **Presented Method:** Displacement (x3000) and stress (σ_x) fields. a) Rigid connection ($k = \infty$). b) Horizontal partial fixity (k). c) Horizontal release ($k = 0$). (Note: Plots are created with the software presented in [32]).

The solutions are carried out using Equation (9) for the elements adjacent to the spring region. It is worth mentioning that in order to obtain the stress field, the DOFs in Equation (6) must be calculated first. The displacement and stress results for each case are given in Table 3.

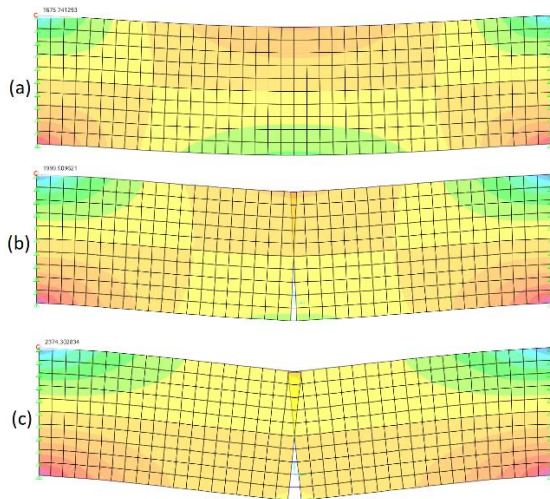
Table 3. **Presented Method:** Analysis results for the beam with elastic springs in Fig. 9 ($\gamma = 10000$).

Analysis ID	Max. Vert. Disp. [mm]	Max. Horiz. Stress. [kPa]
(a) $k = \infty$	0.061065	1675.74
(b) k	0.093094	2000.02
(c) $k = 0$	0.130483	2374.87

Table 4. **SAP2000:** Analysis results for the beam with elastic springs in Fig. 9.

Analysis ID	Max. Vert. Disp. [mm]	Max. Horiz. Stress. [kPa]
(a) $k = \infty$	0.061065	1675.74
(b) k	0.093075	1999.51
(c) $k = 0$	0.130394	2374.30

Table 4. and Fig. 11 show the displacement and stress fields obtained in SAP2000 [31]. The analysis in SAP2000 is performed using spring-equivalent truss elements and vertical constraints at the elastic midline.

Figure 11. **SAP2000:** Displacement (x3000) and stress (σ_x) fields. a) Rigid connection ($k = \infty$). b) Horizontal partial fixity (k). c) Horizontal release ($k = 0$).

Concluding remarks

This paper presented a practical calculation method for equipping existing FE models with edge partial-fixities and releases. Demonstrated with examples that the application of the method consists only of simple matrix operations. The numerical results showed that the accuracy can be controlled with a single magnification factor. The method requires matrix inversion to generate the stiffness equations, even for a single spring case, so its implementation in commercial software may not be an optimal option in terms of speed, but still preferable. On the other hand, being able

to instantly model existing elements to support different types of edge connections will be invaluable, especially for researchers who develop custom code in their work.

References

- [1] C. L. Amba-Rao, "Method of calculation of frequencies of partially fixed beams carrying masses," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 40, no. 2, pp. 367-371, Feb. 1996. DOI: 10.1121/1.1910079.
- [2] Ö. Çavdar, *et al.*, "Stochastic Finite Element Analysis of Structural Systems with Partially Restrained Connections subjected to Seismic Loads," *Steel and Composite Structures*, vol. 9, no. 6, pp. 499-518, Nov. 2009. DOI: 10.12989/scs.2009.9.6.499.
- [3] R. Shahab *et al.*, "Proposed Simplified Approach for the Seismic Analysis of Multi-Storey Moment Resisting Framed Buildings Incorporating Friction Sliders," *Buildings*, vol. 9, no. 5, pp. 1-22, May 2019. DOI: 10.3390/buildings9050130.
- [4] M. E. Kartal, "The Effect of Partial Fixity at Nodal Points on the Behaviour of the Truss and Prefabricated Structures," M.S. thesis, Zonguldak Karaelmas University, Zonguldak, Turkey, 2004 [In Turkish].
- [5] H. Görgün, "Semi-rigid Behaviour of Connections in Precast Concrete Structures," Ph.D. dissertation, Dept. Civil Eng., University of Nottingham, 1997.
- [6] H. Lin, J. Zhou, R. Stearman, "Influence of Joint Fixity on the Structural Static and Dynamic Response of a Joined-Wing Aircraft: Part I: Static Response," *SAE trans.*, vol. 98, no. 1, pp. 221-234, 1989. DOI: 10.4236/ojapps.2016.67047.
- [7] A. Bijalwan, A. Misra, "Design and Structural Analysis of Flexible Wearable Chair Using Finite Element Method," *Open J. Appl. Sci.*, vol. 6, no. 7, pp. 465-477, July 2016. DOI: 10.4236/ojapps.2016.67047.
- [8] M. Zor, M. E. Kartal, "Finite Element Modeling of Fiber Reinforced Polymer Based Wood Composites Used in Furniture Construction Considering Semi-Rigid Connections," *Drvna Industrija*, vol. 71, no. 4, pp. 339-345, Sep. 2020, DOI: 10.5552/drvind.2020.1916.
- [9] A. C. Altunışık, *et al.*, "Finite Element Model Updating of an Arch Type Steel Laboratory Bridge Model Using Semi-Rigid Connection," *Steel and Composite Structures*, vol. 10, no. 6, pp. 543-563, Nov. 2010. DOI: 10.12989/scs.2010.10.6.541.
- [10] T. Türker, *et al.*, "Assessment of Semi-Rigid Connections in Steel Structures by Modal Testing," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 65, no. 7, pp. 1538-1547, July 2009. DOI: 10.1016/j.jcsr.2009.03.002.
- [11] S. S. Bitar, "Semi-rigid action in steel framed structures," Ph.D. dissertation, Fac. Sci. Eng., Manchester School of Engineering, May 1995.

- [12] M. S. Hayalioğlu, S. Ö. Değertekin, H. Görgün, "Design of semi-rigid planar steel frames according to Turkish Steel Design Code," *Sigma*, p. 2, pp. 101-116, May 2004. Available: <https://eds.yildiz.edu.tr/ArticleContent/Journal/sigma/Volumes/2004/Issues/2/YTJENS-2004-22-2.356.pdf>
- [13] H. B. Basaga, M. E. Kartal, A. Bayraktar, "Reliability analysis of steel braced reinforced concrete frames with semi-rigid connections," *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, vol. 12, no. 5, pp. 1250037-1-20. Dec. 2012. DOI: 10.1142/S021945541250037X.
- [14] T. Yin, *et al.*, "A New Method for Design of the Semi-Rigid Steel Frame; The Integration of Joint Inverse Design and Structural Design," *Buildings*, vol. 12, no. 7(938), pp. 1-19, July 2022. DOI: 10.3390/buildings12070938.
- [15] L. M. C. Simões, "Optimization of frames with semi-rigid connections," *Computers & Structures*, vol. 60, no. 4, pp. 531-539, 1996. DOI: 10.1016/0045-7949(95)00427-0.
- [16] M. S. Hayalioğlu, S. Ö. Degertekin, "Minimum cost design of steel frames with semi-rigid connections and column bases via genetic optimization," *Computers & Structures*, vol. 83, no. 21-22, pp. 1849-1863, Apr. 2005. DOI: 10.1016/j.compstruc.2005.02.009.
- [17] S. Ö. Değertekin, M. S. Hayalioğlu, H. Görgün, "Optimum design of geometrically nonlinear steel frames with semi-rigid connections using improved harmony search method," *Mühendislik Dergisi, Dicle University, Dep. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 45-56, 2011.
- [18] A. Elvin, J. Strydom, "Optimizing structures with semi-rigid connections using the principle of virtual work," *International Journal of Steel Structures*, vol. 18, no. 3, pp. 1006-1017, Apr. 2018. DOI: 10.1007/s13296-018-0043-9.
- [19] G. R. Monforton, T. S. Wu, "Matrix Analysis of Semi-Rigidly Connected Frames," *J. Struct. Div.*, vol. 89, no. 6, pp. 13-42, Dec. 1963. DOI: 10.1061/JSDEAG.0000997.
- [20] T.Q. Li, B. S. Choo, D.A. Nethercot, "Connection element method for the analysis of semi-rigid frames," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 32, no. 2, pp. 143-171, 1995. DOI: 10.1016/0143-974X(95)93170-9.
- [21] W. McGuire, R. H. Gallagher, R. D. Ziemian, *Matrix Structural Analysis*. 2nd ed, USA: John Wiley & Sons Inc., 2000, pp. 393-398.
- [22] A. Y. Aköz, *Enerji Yöntemleri*. İstanbul, TR: Birsen Yayınevi, 2005, pp. 155-176.
- [23] A. Kassimali, *Matrix Analysis of Structures*. 2nd ed. Cengage Learning, 2012, pp. 537-541.
- [24] M. Yılmaz, *Sonlu Elemanlar Analizi: Teori ve Python Uygulamaları*. İstanbul, TR: Birsen Yayınevi, 2022, pp. 127-132.
- [25] P. Nanakorn, "A two-dimensional beam-column finite element with embedded rotational discontinuities," *Comput. Struct.*, vol. 82, no. 9-10, pp. 753-762, Mar. 2004. DOI: 10.1016/j.compstruc.2004.02.008.
- [26] B. Biondi, S. Caddemi, "Closed form solutions of Euler-Bernoulli beams with singularities," *Int. J. Solids Struct.*, vol. 42, no. 9-10, pp. 3027-3044, May 2005. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2004.09.048.
- [27] M. E. Kartal *et al.*, "Effects of Semi-Rigid Connection on Structural Responses," *Electron. J. Struct. Eng.*, vol. 10, pp. 22-35, Jan. 2010. Available: <https://ejsei.com/EJSE/article/download/122/121>
- [28] L. Pinheiro, R. A. Silveira, "Computational procedures for nonlinear analysis of frames with semi-rigid connections," *Latin American Journal of Solids and Structures*, vol. 2, no. 4, pp. 339-367, Dec. 2005. Available: <https://www.lajss.org/index.php/LAJSS/article/view/85/79>
- [29] S. Y. Çetin, H. Görgün, D. Kaya, "A computer program for linear analysis of two-dimensional semi-rigid frames," *Dicle University Journal of Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 351-358, June 2022. DOI: 10.24012/dumf.1087793.
- [30] W. Zuo *et al.*, "A complete development process of finite element software for body-in-white structure with semi-rigid beams in .NET framework," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 45, no. 1, pp. 261-271, Mar. 2012. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2011.10.005.
- [31] CSI, "SAP2000 Integrated Software for Structural Analysis and Design," Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [32] M. Yılmaz, "Easy pre/post-processing of finite elements with custom symbolic-objects: a self-expressive Python interface," *Computers & Structures.*, vol. 222, pp. 82-97, Oct. 2019. DOI: 10.1016/j.compstruc.2019.07.002.



Batman Barajının yıkılma analizi ve baraj güvenliği açısından değerlendirilmesi *Failure analysis of Batman Dam and evaluation in terms of dam safety*

Hüseyin EFE^{1*}, Fevzi ÖNEN²

¹ DSİ 21. Bölge Müdürlüğü, efehuseyin@yahoo.gov.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8712-3684>

² Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, fonen@dicle.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2368-1035>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 1 Nisan 2022
Revizyon 4 Eylül 2022
Kabul 14 Eylül 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

*Batman Barajı, Baraj Güvenliği,
HEC-RAS, Modelleme*

ÖZ

Günümüzde artan tüketim miktarıyla birlikte içme – kullanma ve sulama suyu ihtiyacı da aynı oranda artış göstermiştir. Bunun sonucu olarak, mansabında yerleşim yerlerinin varlığına bakılmaksızın inşa edilen barajların güvenliği sorgulanır hale gelmiştir. Gelişen teknoloji sayesinde, barajların türüne (dolgu, beton gibi) topografyasına ve yerleşim yerinin büyüklüğüne göre farklı senaryolar altında risk analizleri türetilerek çeşitli önlemler alınması mümkün hale gelmiştir. Özellikle modelleme programlarının gerçekçi bir seviyeye yaklaşmasıyla daha tutarlı sonuçlara ulaşılmıştır.

Bu çalışmada, Batman ilinin 30 km kuzeyinde yer alan Batman Barajının mevcut durumundan yola çıkılarak risk sınıflandırması yapılmış ve HEC-RAS programı yardımıyla baraj yıkılması modellenerek olası bir yıkılma sonrası ortaya çıkacak olan taşkın dalgası sonucu afet durumları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Elde edilen model analiz sonuçları doğrultusunda; Batman il merkezinin büyük bölümünün yanı sıra, havalimanı ve 19 yerleşim yerinin sular altında kaldığı, afet sonrası ilk müdahalede kullanılacak yolların önemli kısmının tahrip olabileceği ortaya konulmuştur. Afet senaryosunun bertarafı için mansapta bulunan yerleşim alanlarına taşkın dalgası ulaşmadan önce erken tahliye için gerekli sürelerin ve acil durum müdahalelerinin tespiti açısından çalışmanın faydalı olacağı düşünülmektedir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 April 2022
Received in revised form 4 September 2022
Accepted 14 September 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Batman Dam, Dam Safety, HEC-RAS, Modelling

ABSTRACT

Nowadays, with the increasing amount of consumption, the need for drinking – use and irrigation water has increased at the same rate. As a result of this, the safety of the dams constructed regardless of the presence of downstream settlements has become questionable. Thanks to the developing technology, it has become possible to take various measures by creating risk analyzes under different scenarios according to the type of dams (fill, concrete...), topography and size of the settlement. More consistent results could be achieved, especially with modeling programs approaching a realistic level.

In this study, based on the current situation of the Batman Dam, which is located 30 km north of Batman province, a risk classification has been made and the failure of the dam has been modeled with HEC-RAS program and disaster situations as a result of the flood wave that will emerge after a possible collapse have been tried to be revealed. The model analysis results obtained; it has been revealed that most of the city center of Batman, as well as the airport and 19 settlements, were flooded, and that a significant part of the roads to be used in the first response after the disaster may be destroyed. For the elimination of the disaster scenario, it is thought that the study will be beneficial in terms of determining the necessary times for early evacuation and determining emergency interventions before the flood wave reaches the downstream residential areas.

Doi: 10.24012/dumf.1097025

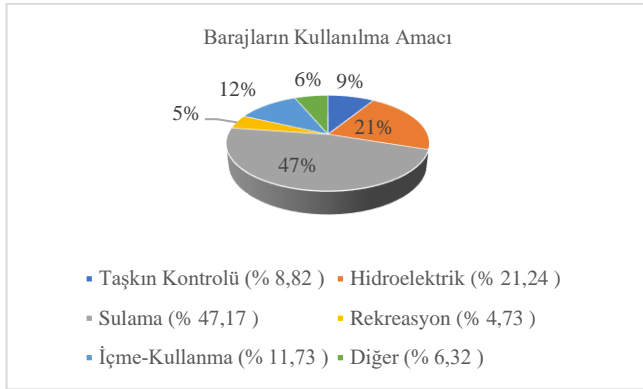
* Sorumlu Yazar

Giriş

Tarih boyunca su, insanoğlunun yaşamını doğrudan yönlendiren en büyük etken olmuştur. Hayati açıdan en temel gıda olmasının yanı sıra, insan topluluklarının ilk kez tarım yapmasıyla ortaya çıkan ve bu toplumların sosyo-ekonomik yapılarında devrimsel dönüşümler yaratan bu sürecin başkahramanı olan suyun zararlarından korunma gereksinimi de kullanımı kadar eskiye dayanmaktadır.

Geçmişten günümüze, artan nüfusla birlikte suyun biriktirilerek kullanılması zorunlu hale gelmiş ve bu ihtiyaç sonucunda Fransızca “su bendi” anlamına gelen “baraj” yapıları hayatımıza girmiştir.

Barajlar; içme-kullanma, sulama, enerji, taşkın kontrolü gibi amaçlarla suyun biriktirilmesini sağlayan su yapıları olarak adlandırılmaktadır. Kullanılma amacına göre dünyada barajların oranları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Barajların kullanılma amacına göre dağılımı [1]

Baraj tasarımı yapılırken genellikle birden fazla alternatifle çalışma yapılmaktadır. Yerine ve yapılış amacına göre en uygun ve en ekonomik olan baraj tipinin belirlenmesi için birçok faktörün göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu faktörlerden bazıları; baraj yerinin topoğrafik durumu, temel ve jeolojik şartlar, baraj inşaatında kullanılacak uygun malzeme temini, ulaşım kolaylıkları, yeraltı ve yerüstü sularının durumu ve ekonomik durumdur [2].

Sağladığı faydaların yanı sıra yapının büyüklüğüyle orantılı olarak artan risk derecesi de göz önüne alındığında, baraj güvenliği günümüzde baraj tasarımının en önemli kısmını oluşturmaktadır.

Barajlar yapılırken işletme giderleri göz önünde bulundurulurken suyun kullanılacağı alandan daha yüksek yere konumlandırılarak cazibeyle suyun ulaştırılması sağlanır. Özellikle yerleşim yerlerinin membasında yer alan barajlar, olası yıkılma durumları göz önüne alındığında bazı riskleri ortaya çıkarmıştır [3].

Barajlarda hasar ve yıkılmalar neticesinde ortaya çıkabilecek can ve mal kayıplarını önlemek adına kullanılan yapı malzemelerinin ve barajın davranışının belirlenmesi açısından birtakım deneysel ve modelleme çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda erken uyarı sistemlerine altyapı olması açısından yıkılma analizleri ve taşkın dalgası risk haritaları çıkarılmasında fayda vardır [4].

Bu çalışmada; HEC-RAS programı yardımıyla Batman Barajının yıkılması modellenerek olası bir yıkılma sonrası ortaya çıkacak olan taşkın dalgası sonucu afet durumları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Baraj Güvenliği

Hem yeni yapım teknikleriyle tasarlanan yeni nesil barajların hem de geçmiş yıllarda kısıtlı imkânlarla yapılan eski tip barajların güvenlik açısından irdelenmesi veya gerekli tedbirlerin alınması büyük ölçekli afetlerin önüne geçebilmeyi mümkün kılabilir. Özellikle mansap kısmında büyük yerleşim yerleri bulunan barajların deprem, taşkın ve oturmalar gibi iç ve dış etkenlere karşı davranış mekanizmalarını anlayabilmek adına çeşitli senaryolar altında risk analizleri yapılmaktadır. Yapılan analizler sonucu; doğal yollarla ortaya çıkan taşkınlara nazaran baraj yıkılmaları sonucu oluşan taşkınların pik akım debisinin oluşma süresinin çok daha kısa zamanda gerçekleştiği, bu sebeple mansapta yaşayan insanlar için uyarı sürelerinin son derece kısa olduğu görülmüştür.

Baraj göl alanında depolanan suyun, mansap vadisine aniden boşaltılması kadastofik taşkına sebep olabilir. Yoğun yağışlar sonucu oluşan sel ile karşılaştırıldığında, baraj yıkılmalarında genellikle çok daha yüksek büyüklükteki pik akımlara sahip taşkınlar görülmektedir [5].

Baraj mansabında taşkın yaşanacak alanların belirlenmesi ve acil durum planlarının hazırlanmasıyla birlikte yıkılmanın yaratacağı olası etkiler asgari seviyeye düşürülebilir. Bu nedenle inşaatı tamamlanmış barajların güvenilirliklerinin belirlenmesi ve tasarımı yapılan yeni barajların da bu problemin bir parçası olarak değerlendirilip baraj yıkılması analizlerinin yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu tür bir çalışma gerçek baraj yıkılmalarına ait gözlemlerin yanı sıra sayısal ve deneysel modellerden elde edilen bilgiler ışığında yapılabilir [6].

Gerek tasarım aşamasında gerekse yapım aşamasında barajlar için tehlike oluşturan bir başka etmen de barajın bulunduğu bölgenin deprenselliğidir. Doğrudan yıkılmasına sebep olmasa bile geri dönülmez hasarlar oluşturma riskine sahip deprem etkisi, baraj güvenliği açısından kritik öneme sahiptir.

Irak-İran sınırına yakın bir yerde konumlanan Darbandikhan Barajı, 2017 yılında gerçekleşen deprem sonucunda ciddi hasarlar görmüş ve ayrıntılı bir onarım çalışması gerektirmiştir [7].

Baraj güvenliğini etkileyen bir diğer faktör de dolusavağın tipidir. Özellikle kret kotunun alçalması sonucu azalan maliyetin yanı sıra enerji üreten barajlarda su kaybını önlemek ve kontrollü elektrik üretimini sağlamak adına kapaklı dolusavak kullanımı oldukça artmıştır. Ancak işletme-bakım zorluklarının yanı sıra deprem bölgelerinde dolusavak kapaklarında olası bir hasar durumunda baraj güvenliği açısından tehlike oluşturmaktadır.

Geçmişte dolusavak kapaklarının istenilen şekilde işletilememesinden kaynaklı hasara uğrayan barajlara örnek olarak Euclides Da Cunha Barajı (Brezilya,1977), Machu Barajı (Hindistan, 1979), Hirakuo Barajı (Hindistan, 1980),

Noppikoski Barajı (İsveç,1985), Lutufallet Barajı (Norveç, 1986) ve Belci Barajı (Romanya, 1991) sayılabilir [8].

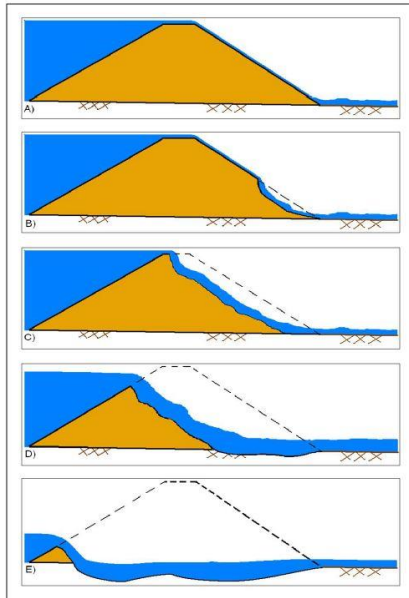
Ölçüm Cihazları

Barajların yapım ve işletme sürecinde projelerinde öngörülen emniyet sınırları içinde kalıp kalmadıklarının izlenmesi, gerekli önlemlerin zamanında alınması ve ileride projelendirilecek barajlar için bilgi birikimi sağlanması açısından, ölçüm tesisleri ve gözlem sonuçları analiz ve değerlendirmeleri büyük önem arz etmektedir [9].

Baraj emniyeti için kullanılan ölçüm cihazları; yapı çalışmalarını öncesi saha koşullarının tanımlanmasında, tasarım ve analiz varsayımlarının doğrulanmasında, inşaat süresince ilk doldurma ve çalışma zamanında davranışın değerlendirilmesinde, belirleyici tasarım özelliklerinin performanslarının değerlendirilmesinde, bilinen jeolojik ve yapısal anomalinin performansının gözlemlenmesinde, sahaya özgü olası yenilme biçimlerine göre performans değerlendirilmesinde ve gelecekte yapılacak tasarım ve benzer yapı çalışmalarına veri aktarılmasında önemli rol oynamaktadır [10].

Yıkılma Mekanikliği

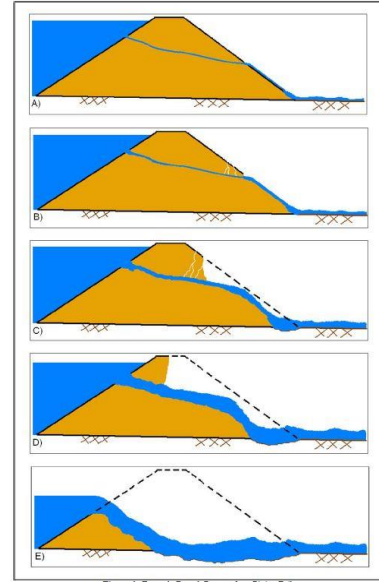
Yıkılan barajlar incelendiğinde; %34'ü rezervuardaki suyun kret üstünden aşması, %30'u temelde oluşan deformasyonlar, %28'i gövdede meydana gelen borulanma ve %8 ise diğer sebepler (şev kayması, çatlama gibi) sonucu yıkılmanın gerçekleştiği görülmüştür. Dolgu barajlarda ise bu oranlar üstten aşma %35, borulanma sonucu yıkılma %38 ve temel deformasyonları %21 olarak tespit edilmiştir [11].



Şekil 2. Üstten aşmalı yıkılma [12]

Şekil 2'de görüldüğü üzere; rezervuardaki suyun kret üstünden taşarak baraj topuğunu oyması sonucu oluşan üstten aşmalı yıkılma durumu genellikle tasarım hidrolojinin yanlış hesaplanması veya dolusavağın çalışmaması sonucu ortaya çıkar [12].

Bir diğer baraj yıkılma şekli olan borulanma; hidrolik eğim sonucu suyun membadan mansaba doğru hareket ederken baraj gövdesi içinde yer alan ince daneli malzemeyi de beraberinde taşıması sonucu oluşur. Şekil 3'te, taşınan malzemenin zaman içinde gövdede su kanalcıkları oluşturarak barajda gedik açılmasına neden olabileceği gösterilmiştir [12].



Şekil 3. Borulanma sonucu yıkılma [12]

Yıkılma analizleri yapılırken genel olarak üç parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar; gedik genişliği, gedik şev eğimi ve yıkılma süresidir. Baraj yıkılma mekanikliği için her ne kadar bazı yaklaşımlar ortaya konulsa da genel olarak geçmişte meydana gelen yıkılma olaylarına dayalı ampirik formüller kullanılmaktadır. Sık şekilde kullanılan formüllerden bazıları aşağıda verilmiştir.

- Froehlich (2008):

$$B_{ort} = 0,27K_o V_w^{0,32} h_w^{0,4}$$

$$t_f = 0,62 \sqrt{\frac{V_w}{gh_w^2}}$$

B_{ort} = ortalama gedik genişliği

K_o = katsayı (üstten aşma = 1,3, borulanma=1,0)

V_w = Rezervuar hacmi

h_w = nihai gedik yüksekliği

g = yerçekimi ivmesi

t_f = gedik oluşma zamanı

Gedik şev eğimleri: Üstten Aşma = 1D/1Y

Borulanma = 0,7D/1Y

- Von Thun ve Gilette (1990):

$$B_{ort} = 2,5h_w + C_b$$

$$t_f = 0,02 h_w + 0,25 \quad (\text{erozyona dayanıklı})$$

$$t_f = 0,015 h_w \quad (\text{erozyon miktarı yüksek})$$

B_{ort} = ortalama gedik genişliği

h_w = nihai gedik yüksekliği

C_b = rezervuarın boyutuna bağlı katsayı (6,1~54,9)

t_f = gedik oluşma zamanı

Yıkılma Risk Potansiyeli

Barajlarda yıkılma analizinin sağlıklı yapılabilmesi için mevcut risklerin tam olarak ortaya konulabilmesi gerekmektedir. Federal Acil Durum Yönetim Ajansı (FEMA) risk için, olumsuz sonuçların oluşmasının ve ortaya çıkmasının bir ölçüsüdür tanımını yapmıştır. Belirlenen riskler doğrultusunda her bir baraj için tehlike sınıfları belirlemek ve bu sınıflandırmalara dayalı önlemler almak baraj güvenliğinin en önemli adımlarından biridir.

Baraj güvenliği açısından birçok ülkede farklı sınıflandırmalar kullanılmaktadır. Deprem risk durumu, rezervuar hacmi, yaşanabilecek can kaybı sayısı gibi değişik parametrelere bağlı olarak tehlike sınıflandırmaları yapılmaktadır.

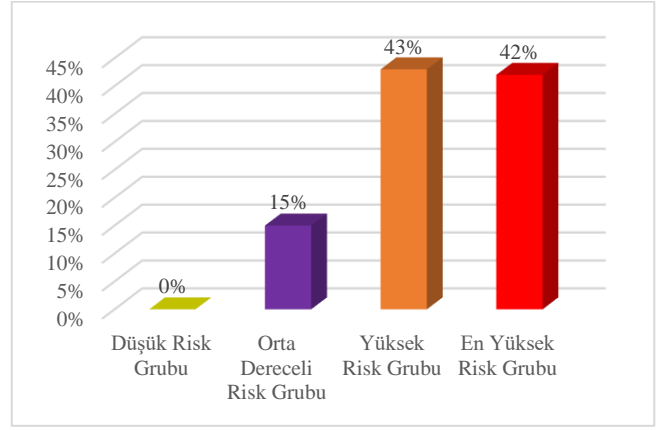
Ülkemizde devlet tasarrufu altında yapılan barajlardan sorumlu kurum olan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından inşaatı tamamlanan barajlara yönelik "Risk Potansiyeli Sınıflandırma Tabloları", 2002 yılında hazırlanmıştır.

Rezervuar kapasitesi, barajın yüksekliği, insan sayısı olarak tahliye gereksinimi, potansiyel mansap zararları, sismik risk katsayısı (k) /yatay yer ivmesi (a), hidrolojik verilerin güncelliği ve dolusavak tipine bağlı puanlama yapılarak inşaatı tamamlanmış ve/veya devam eden her bir baraj için risk potansiyeli belirlenmiştir. Yapılan puanlama neticesinde tehlike sınıflandırmaları Tablo 1'de gösterilmiştir.

TOPLAM RİSK FAKTÖRÜ	RİSK SINIFI (RİSK PUANLAMASI)
(0-16)	I (Düşük Risk Grubu)
(17-36)	II (Orta Dereceli Risk Grubu)
(37-59)	III (Yüksek Risk Grubu)
(60-105)	IV (Çok Yüksek Risk Grubu)

Tablo 1. Toplam Risk Faktörüne Karşılık Gelen Risk Sınıfı

Yukarıdaki tabloya göre yapılan çalışmada, Şekil 4'te görüldüğü üzere ülkemizde işletmede ve/veya inşaat halinde olan barajların %85'i yüksek ve çok yüksek risk grubunda yer almaktadır [13].



Şekil 4. Türkiye'deki barajların risk potansiyeli [13]

Acil Eylem Planı

Olası bütün baraj yıkılmalarını önlemek imkânsız olsa da yıkılmanın zararlarından kaçınmak veya bunları asgari seviyeye indirmek mümkündür.

Yapılan baraj yıkılma analizleri; baraj güvenliği başlığı altında tasarım, inşaat ve işletme aşamalarında aktif olarak kullanılmaktadır. Bu analiz sonuçları esas alınarak hazırlanan Acil Eylem Planları; baraj yıkılması sonrası ortaya çıkabilecek can kaybını ve tahribatı önlemeye büyük katkı sağlayabilmektedir.

Acil Eylem Planları, genel olarak iki bölümden oluşmaktadır:

1. Dahili Acil Eylem Planı (DAEP); acil durum esnasında barajların izlenmesi ile teknik şartname ve kılavuzlar, baraj emniyeti ve işletmesi hususunda alınacak aşağıdaki önlemleri içermelidir;

- Baraj gövdesi yardımcı yapılarının açıklanması,
- Tehlike içeren durumların ortaya konulması,
- Barajın işletmesine esas teşkil edecek emniyet düzeylerinin belirlenmesi,
- Risk analizi ve karar verme proseslerine dair yöntemlerinin hazırlanması,
- Baraj emniyetiyle ilgili yöresel bazda sorumlular görevlendirilmesi,
- Sivil savunma teşkilatı oluşturularak ve mobilizasyon kazandırılması,

2. Harici Acil Eylem Planı (HAEP); baraj mansabında alınacak tedbirlerle ilgili aşağıda belirtilen çalışmaları içermelidir;

- Baraj mansabında bulunan nüfus, ekonomik faaliyetler, altyapı, ulaşım yolu, ekipman, sağlık sistemi ve güvenlik birimlerinin tespiti,
- Emniyetle ilgili kurumların ve bu kurumların sorumluluklarının belirlenmesi,
- Karar verme otorite ve mekanizmasının belirlenmesi,
- İnsan ve malzeme kaynaklarının etkin kullanılması,

- Sığınak yapılacak mecraların ve acil ulaşım güzergahlarının alternatif seçeneklerle belirlenmesi,
- Ulaşım ve iletişim sistemlerinin belirlenerek düzenlenmesi,
- Erken uyarı ve bilgilendirme sistemlerinin oluşturulması [9].

Materyal

Çalışma alanına ait veriler

Yıkılma analizi yapılan Batman Barajı; Diyarbakır İli Silvan İlçesi sınırları içinde yer alan tarihi Malabadi Köprüsünün 700 metre mansabında, Batman Çayı üzerinde yer almaktadır. Kulp, Zori ve Sason akarsu kollarından oluşan Batman Çayı, toplam 4.106 km²'lik yağış havzasına sahiptir [14].



Şekil 5. Batman Barajının kuş uçuşu görünüşü

Yapımına 1986 yılında başlanılan Batman Barajı, 2003 yılında işletmeye alınmıştır. Temel amacı 37.744 hektar tarım arazisine sulama suyu sağlamak olan barajın üstten görünüşü Şekil 5'te verilmiştir. Taşkın kontrolünü sağlamanın yanı sıra 198 MW kurulu güce sahip hidroelektrik santraliyle de yıllık 483 GWh enerji üretmektedir.

Amaç	: Sulama+Taşkın Kont.+Enerji
İnşaatın Başlama-Bitiş Yılı	: 1986-1999
Gövde Dolgu Tipi	: Kil Çekirdekli Kaya Dolgu
Gövde Hacmi	: 7,181 hm ³
Yükseklik (Temelden)	: 85 m
Kret Uzunluğu	: 530 m
Normal Su Kotunda Göl Hacmi	: 1.175 hm ³
Sulama Alanı	: 37.744 ha
Kurulu Güç	: 198 MW
Yıllık Üretim	: 483 GWh
Yağış Alanı	: 4.106 km ²

Yıllık Maks. Akım	: 7.979 x10 ⁶ m ³
Dolusavak Giriş Debisi	: 8.210 m ³ /s
Maks. Göl Hacmi	: 1,244 hm ³

Tablo 2. Batman Barajı karakteristikleri [14]

Tablo 2'de karakteristik bilgileri verilen Batman Barajının mansabında Batman il merkezinin yanı sıra Diyarbakır ve Batman iline bağlı onlarca yerleşim yeri bulunmaktadır. 1.244 hm³ rezervuar hacmine sahip barajın yıkılması durumunda on binlerce can kaybı yaşanması muhtemeldir.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünce kullanılan risk potansiyeli sınıflandırma tablolarında yer alan parametreler esas alınarak Batman Barajı için risk sınıflandırması Tablo 3'de verilmektedir.

Risk Faktörü	Değeri	Puanı
Rezervuar Kapasitesi	>1,2 milyar m ³	10
Barajın Yüksekliği	>60 m	5
İnsan Sayısı Olarak Boşaltma Gereksinimi	>1.000	40
Potansiyel Mansap Zararı	Yüksek	25
Sismik Risk Katsayısı (k) veya Yatay yer ivmesi (a)	0,10 g <k <0,25 g veya 300>a>140 cm/s ²	4
Hidrolojik Verilerin Güncelliği	T>30 yıl	10
Dolusavak Tipi	Kontrollü Kapak Adedi >6	5
TOPLAM PUAN=		99

Tablo 3 – Batman Barajı risk sınıfı

En yüksek risk potansiyel puanının 105 olduğu cetvelde; Batman Barajının risk puanı 99 hesaplanmış olup güvenlik derecesi 4. sınıf, yani en yüksek risk grubunda çıkması, baraj güvenliğinin öncelikli olarak önemsenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bir barajın emniyeti, barajın inşası sırasındaki gerçek koşullar ile projelendirme koşulları arasındaki farklılıklar ve hasar oluşumlarına neden olan parametrelerin ortaya konulması ile değerlendirilebilir. Bir barajın emniyetli olarak tanımlanabilmesi için, barajın ekonomik ve fiziki ömrü boyunca karşılaşılabilecek ve dayanmak zorunda olduğu tüm düşünülebilir yıkım senaryoları dikkate alınarak projelendirilmiş ve işletilmekte olması gereklidir [9].

Baraj yıkılma analizinin sağlıklı yapılabilmesi için gerçekçi senaryoların ortaya konulması oldukça önemlidir. Batman Barajının yıkılma analizi yapılırken son dönemde yıkılan barajlarla benzeştirilen senaryo türetilmiştir. Ayrıca barajın mevcut durumunun izlenmesini sağlayan baraj ölçüm aletlerinin okumaları ile periyodik olarak her yıl uzman DSİ

personelleri tarafından yapılan muayene raporu esas alınmıştır.

Dicle Nehri Havzasında yer alan bir diğer önemli baraj olan Dicle Barajının 3 radyal dolusavak kapağından birinin 13.12.20218 tarihinde kopması sonucu mansapta bazı yerleşim yerleri tahliye edilmiş ve ilk etapta yapılan deşarj sonucu su seviyesi yer yer 4 metre artmıştır. Batman Barajının 2021 yılı muayene raporu incelendiğinde; özellikle mekanik aksamda yaşa bağlı korozyon ve deformasyonların oluştuğu gözlemlenmiş olup senelik bakımları eksiksiz olarak yapıldığı görülmüştür.

Batman Barajının yıkılma senaryosu için radyal kapaklı dolusavakların çalışmama senaryosu göz önüne alınarak rezervuardaki suyun kretten aşma ihtimali göz önüne alınmıştır.

Metod

Batman Barajının yıkılma analizi için öncelikle çalışma alanına ait haritalar temin edilmiştir. 1/25000'lik sayısal haritalara, dere yatağına ait 1/1000'lik haritalar da uyarlanmış, böylelikle baraj yıkılması sonrası başlangıç debisinin daha doğru bir yol izlemesi sağlanmıştır. Yıkılma analizinin modelleme çalışmaları HEC-RAS (v 6.2) yazılımıyla yapılmış olup bu program ücretsiz olarak kullanıcılara sunulmaktadır.

HEC-RAS programı

HEC-RAS programının ilk versiyonu (1.0) 1995 yılında piyasaya sürülmüş, 2022 yılının mart ayında yayımlanan 6.2 versiyonu ise birçok yenilik içermektedir.

Amerikan ordusuna (USACE) bağlı olan Hidrolojik Mühendislik Merkezi (HEC) tarafından geliştirilen HEC-RAS programının yazılımında Gary W. Brunner baş rol oynamıştır. Kullanıcı ara yüzü ve grafikleri Mark R. Jensen tarafından yapılan programın su yüzü profil analiz modülleri Steven S. Piper, sediment taşınım modülü Stanford Gibson ve su kalitesi modülü ise Cindy Lowney ve Mark R. Jensen tarafından tasarlanmıştır [15].

HEC-RAS programı yardımıyla modellenen baraj yıkılma analizlerinde bir veya iki boyutlu Saint-Venant denklemleri kullanılmaktadır.

Akım derinliğinin; uzunluğuna nazaran çok küçük olduğu ve sığ olarak tanımlanabilecek problemlerde, bazı basitleştirmeler sonucu oluşturulan denklemler oldukça pratiktir. Sığ olarak tanımlanabilecek baraj yıkılmaları, yerçekimi etkisi altında hareket eden değişken açık kanal akımı problemlerinin çözümünde Saint-Venant denklemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu denklemler, Navier-Stokes denklemlerinin basitleştirilmesi ya da kütle ile momentumun korunumu denklemlerinin bir kontrol hacmine uygulanmasıyla elde edilmiştir. Elde edilen denklemlerdeki değişkenler, derinlik ortalamalı olarak ifade edildiğinden, bilinmeyenler hız ve yükseklik olmaktadır. Bunun sonucu olarak da su seviyeleri doğrudan hesaplanabilmektedir [6].

HEC-RAS programıyla yapılan modellemelerde; Froehlich (1995a,2008), MacDonald ve Langgridge-Monopolis (1984), Von Thun ve Gilette (1990) ile Xu ve Zhang (2009) yaklaşımlarıyla hazır olarak seçenekler sunulmaktadır.

USACE tarafından yapılan bir kıyas çalışmasında aynı model için her bir yaklaşım biçimi modellenmiştir. Her ne kadar baraj yıkılmasının ilk anındaki pik hidrograf değerleri farklılık gösterse de 16 kilometre uzaklık itibarıyla taşkın hidrograflarının büyük oranda benzeştiğini ortaya koymuştur [12].

Batman il merkezinin, Batman Barajından 30 kilometre kadar uzakta olduğu göz önüne alınarak analiz parametreleri için Froehlich (2008) yaklaşımı kullanılmıştır. Bu değerler aşağıda verilmektedir;

$$B_{ort} = 282 \text{ m}$$

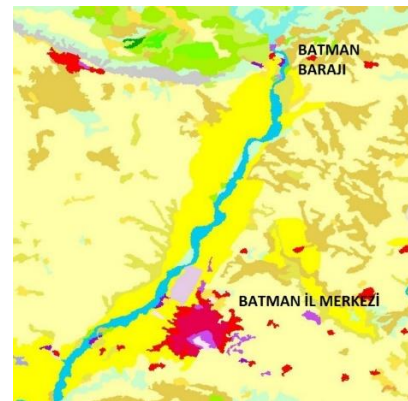
$$t_f = 3,92 \text{ saat}$$

Yıkılma analizi için ihtiyaç duyulan bir diğer parametre de pürüzlülük katsayısıdır.

Genel olarak debi (Q) değeri hesaplanırken hidrolik yarıçap, hidrolik eğim ve kesit alan değerleri ölçümlerle belirlenebilmesine rağmen pürüzlülük katsayısı için böyle bir ölçüm imkânı yoktur. Akarsu yatak özelliğine göre değişen pürüzlülük katsayısı, daha çok gözlem yoluyla tespit edilmektedir [16].

Dere yatakları için kullanılan Cowan yaklaşımı yerine daha geniş alanların göz önüne alınmasını sağlayan Corine Land Cover (CLC) haritaları kullanılarak pürüzlülük katsayısı tespit edilmiştir.

CORINE (Coordination of Information on the Environment), Avrupa Birliği ülkeleri kapsamında 1980'lerin ortalarından beri, belirli periyodlarla tüm üye ülkeleri kapsayacak şekilde Arazi Örtüsü/Arazi Kullanımı belirleme amaçlı olarak uygulanan bir sistemdir [17]. Ülkelerinin tamamına ait bir arazi kullanım haritası üretmek, standart bir veri tabanı oluşturmak ve çevresel politikaların belirlenmesi gibi temel amaçlarla tasarlanmıştır [18].



Şekil 6. Çalışma alanına ait CORINE görüntüsü

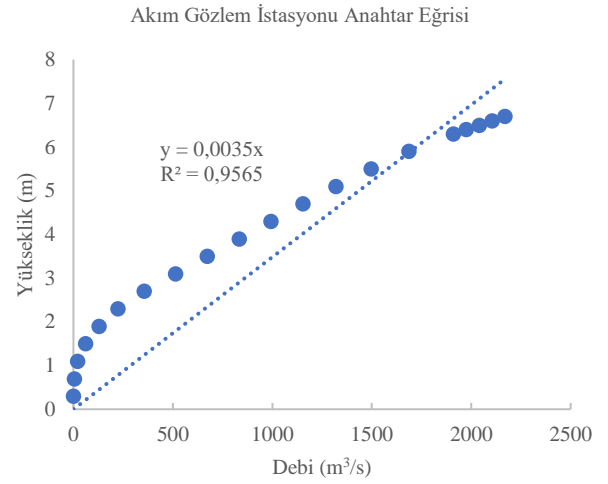
En son 2018 yılında güncellenen haritalar esas alınarak Batman Barajının yıkılması sonrası oluşacak taşkın dalgasının geçeceği yerler, CORINE haritasında, Şekil 6'da gösterildiği şekilde belirlenmiştir. Arazi örtüsünün ağırlıklı oranları göz önüne alınarak çalışma alanı için belirlenen Manning pürüzlülük katsayısı Tablo 4'te verilmiştir.

ARAZİ TÜRÜ	KODU	ORANI (%)	PÜRÜZLÜLÜK KATSAYISI
Sürekli kentsel doku	111	0,37	0,013
Sürekli olmayan kentsel doku	112	0,16	0,013
Endüstriyel veya ticari alanlar	121	0,09	0,013
Havalimanları	124	0,17	0,013
Maden sahaları	131	0,04	0,013
Spor ve eğlence alanları	142	0,04	0,025
Sulanmayan tarım alanları	211	44,17	0,030
Sulanan tarım alanları	212	37,93	0,030
Meralar	231	0,59	0,035
Karışık tarım alanları	242	0,18	0,040
Doğal bitki örtüsü	243	1,25	0,050
Doğal çayırliklar	321	0,11	0,040
Ormanlık-çalı geçiş alanları	324	0,06	0,060
Kumluk alanlar	331	0,01	0,025
Seyrek bitki alanları	333	11,38	0,027
Bataklıklar	411	0,03	0,040
Su kanalları	511	3,39	0,050
Su kütleleri	521	0,05	0,070
MANNING KATSAYISI=			0,0305

Tablo 4. Arazi sınıflandırmasına göre pürüzlülük katsayısı [19]

Yapılan modelleme çalışmalarında en önemli hususlardan birisi de kalibrasyon yani doğrulama işlemidir. Oluşturulan modelin ölçülebilir verilerinin saha ölçümleriyle uyumu, modelin doğruluk derecesini vermektedir.

Kalibrasyon çeşitli şekillerde yapılabilir. Bunların en çok başvurulanı, modele giriş hidrografi verilirken akarsu ağının herhangi bir noktasında ölçüm istasyonlarındaki hız, seviye ölçümlerini kullanarak modeli doğrulamaktır. Bu tür modeller genel olarak üç şekilde yapılır; laboratuvarında yapılan çalışmalar sonucu elde edilen verileri, dünyada kabul görmüş bir kaynaktan yararlanmak ve modelin bulunduğu sahada ölçüm yapmak. En ideal olanı, arazide daha evvel meydana gelmiş feyzanların yapılmış ölçümlerinden faydalanmaktır. Ölçümler alınamamış olsa bile mevcut fotoğraflardan ve olaya tanık olmuş kişilerden bilgi edinerek sınırlar tespit edilebilir [3].



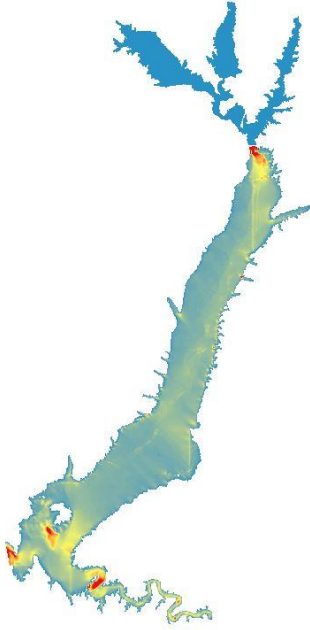
Şekil 7. Batman çayı AGİ anahtar eğrisi

Batman Barajının yıkılma analizi için ölçümlere dayalı kalibrasyon yöntemi seçilmiştir. Barajın mansabında yer alan E26A012 numaralı Batman Çayı akım gözlem istasyonuna ait ve Şekil 7'de verilen anahtar eğrisi kullanılarak doğrulama yapılmıştır. Aynı harita kullanılarak 1 boyutlu analiz sonuçlarıyla akım gözlem istasyonu verileri karşılaştırılarak kalibrasyon yapılmıştır.



Şekil 8. Batman Barajı yıkılması sonrası oluşmuş muhtemel taşkın dalgası

Yapılan analiz sonuçları doğrultusunda; Şekil 8'de görüldüğü üzere yayılım haritası ortaya çıkmıştır. Şekil 9'da verilen akış hızına bağlı olarak renklendirilmiş harita oluşturulmuştur. Özellikle kesitin daraldığı kesimlerde 8 m/s değerlerini gören kısımlar haricinde (kırmızı alanlar), ova boyunca yayılım gösteren suyun akış hızı 1~2 m/s dolaylarında kalmıştır.

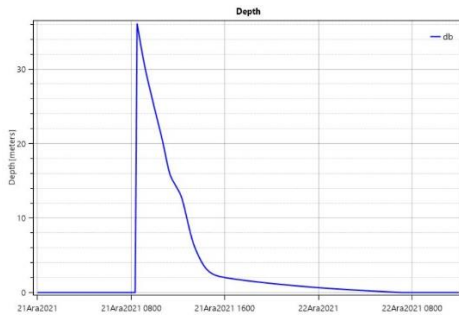


Şekil 9. Taşkın dalgası hız dağılım haritası

Baraj yıkılması sonrası ortaya çıkan taşkın yayılım haritasının ayrıntılı incelemesi için Şekil 10'da gösterildiği üzere en kesit hattı belirlenmiştir. Alınan en kesit boyunca su yüzü profili incelendiğinde; kesitin en derin yer olan Batman Çayı taban kotundan itibaren Şekil 11'de anlaşılacağı üzere 35 metreyi bulan bir taşkın dalgasının oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 10. Taşkın dalgası azami yükseklik haritası



Şekil 11. En kesit alınan kısımdaki Batman Çayı su yüzü yükseklik değişimi

Sonuç

Bu çalışmayla; küresel ısınma sonucu ortaya çıkan iklim değişikliğiyle beraber düzensizleşen hidrolojiye bağlı olarak baraj güvenliğinin önemi bir kez daha vurgulanmıştır. Risk faktörlerinin daha sağlıklı ortaya konulması bağlamında mevcut durumun iyi analiz edilmesi, baraj yıkılma mekaniğinin anlaşılabilmesinde en temel faktörlerden biri olduğu ortaya konulmuştur. Buna yönelik olarak yakın zamanda gerçekleşen olaylardan yola çıkılarak özellikle hidrolojik rasatlar ve barajın muayene raporları esas alınarak daha gerçekçi yıkılma senaryolarının oluşturulması önem arz etmektedir.

Taşkın yayılım haritası göz önüne alındığında; milli güvenlik için büyük önem taşıyan Batman Havalimanı da dahil olmak üzere Batman ili merkezi, Diyarbakır – Batman otoyol köprüsü, Batman – Bitlis ulaşım yolu ve birçok yerleşim yerinin sular altında kaldığı görülmüştür. Büyük can kayıplarının yanı sıra ilk yardım ve acil müdahale imkanlarını engelleyecek ulaşım sıkıntılarının ortaya çıkması kaçınılmazdır.

Özellikle kapaklı dolusavağa sahip barajlarda; işletme ve bakım konusunda ciddi tedbirlerin alınması yaşanabilecek afetlerin önüne geçilmesinde etkili olacaktır. Yapılan analiz sonuçları esas alınarak; imar ve acil durum planlarına bağlı haritalandırmalar yapılabilecektir. Risk durumunun ortaya konulmasıyla tehlike anında erken uyarı sistemleri gibi bazı önlemlerin alınmasıyla tepki süresi uzatılarak can ve mal kayıplarının azaltılması hedeflenebilir.

Teşekkür

Bu araştırma makalesi, Mühendislik 20.006 no'lu doktora tezi kapsamındaki proje ile Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir. Bu nedenle yazarlar, destek sağlayan Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Ofisine (DÜBAP) teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] ICOLD 2022 ,https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp
- [2] Prof. Dr. C.Erkek, Prof. Dr. N. Ağırlioğlu, “Su Kaynakları Mühendisliği”, İstanbul, 1993, sayfa 217
- [3] A. Em, “Kralkızı ve Dicle Barajlarının Yıkılması Sonrası Nümerik Taşkın Modellemesi ve Simülasyonu”, Doktora tezi, Dicle Üniversitesi, 2021
- [4] A. Em, N. Hamidi, “Kralkızı ve Dicle Barajlarının Yıkılması Sonrası Nümerik Taşkın Modellemesi ve Simülasyonu”, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 12 (3), Diyarbakır, 202, sayfa 535-541
- [5] N. Palamut, “Baraj Yıkılma Analizi ve Uygulaması”, Yüksek Lisans tezi, İnşaat Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi, 2014
- [6] S. Kocaman, “Baraj Yıkılması Probleminin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi”, Doktora tezi, İnşaat Ana Bilim Dalı, Çukurova Üniversitesi, 2007
- [7] M.Ş. İmamoğlu, İ. Bedirhanoglu, Ç. Mollamahmutoğlu, “Evaluation of 12 November 2017 Mw 7.3-30 km South of Halabja Iraq-Iran Border Earthquake and Its Effects on Darbandikhan Dam from a Geological Perspective”, 5th International Symposium on Dam Safety, pp 158 - 174, 2018

- [8] D. Yıldız, “*Baraj Güvenliği ve Barajlarda Kapaklı veya Kapaksız Dolusavakların Tercih Üzerine Düşünceler*”, DSİ Teknik Bülteni No:75, sayfa 18, 1972
- [9] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, “*Baraj Emniyeti Rehberi*”, Rev.1, Ankara 2014
- [10] K. Ö. Çetin, H. T. Bilge, “*Dolgu Barajlarda Ölçüm Sistemleri*”, sayfa 2, Ankara, 2015
- [11] J. E. Costa, “*Floods From Dam Failures*”, Denver, 1985, pp 1
- [12] G. Brunner, “*Using HEC-RAS for Dam Break Studies*”, Kaliforniya, 2014, sayfa 11-12, pp 41
- [13] T. Dinçerkök, “*Baraj Emniyeti ve Baraj Güvenliği*”, Baraj Emniyeti ve Ölçüm Sistemleri Çalıştayı, İstanbul, 2012
- [14] Devlet Su İşleri 10. Bölge Müdürlüğü, “*Batman Projesi Planlama Raporu*”, Diyarbakır, 1983
- [15] H. Efe, “*Batman Çayı'nın taşkın analizinin HEC-RAS programıyla yapılması*”, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 2014
- [16] H. Efe, F. Önen, “*Batman Çayı'nın taşkın analizinin HEC-RAS programıyla yapılması*”, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 10 (2), Diyarbakır, 2015, sayfa 83 - 92
- [17] L. Disperati, S. G. P. Virdis, “*Assessment of land-use and land-cover changes from 1965 to 2014 in Tam Giang-Cau Hai Lagoon, central Vietnam*”, Applied Geography, 2015, pp 48-64.
- [18] L. Başayığit, “*CORINE Arazi Kullanımı Sınıflandırma Sistemine Göre Arazi Kullanım Haritasının Hazırlanması: Isparta Örneği*”. Tarım Bilimleri Dergisi, 10 (4), 2004, sayfa 366-374
- [19] G. Papaioannou, A. Efstratiadis, L. Vasiliades, A. Loukas, S. Michael Papalexiou, A. Koukouvinos, I. Tsoukalas, P. Kossieris., “*An Operational Method for Flood Directive Implementation in Ungagged Urban Areas*”. MDPI - Publisher of Open Access Journals, 2018, pp 11



Estimation of Daily Average Global Solar Radiation with Nonlinear Regression Models Developed Using Some Meteorological and Geographical Parameters

Selçuk USTA^{1*}, Cafer GENÇOĞLAN², Serpil GENÇOĞLAN³

¹ Van Yüzüncü Yıl University, Construction Technology Department, susta@yyu.edu.tr, Orcid No: 0000-0001-8970-7333

² Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Biosystem Engineering Department, gencoglan@ksu.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-4559-4354

³ Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Biosystem Engineering Department, sgencoglan@ksu.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-7390-8365

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 June 2022
Received in revised form 30 June 2022
Accepted 1 July 2022
Available online 30 September 2021

Keywords:

Estimation model, Nonlinear regression, Solar radiation

Doi: 10.24012/dumf.1130793

* Corresponding author

ABSTRACT

In this study, it is aimed to develop empirical models that can be used in estimation of daily average solar radiation (RS) based on some meteorological and geographical parameters. Seven estimation models were developed by nonlinear regression analysis method using various combinations of air temperature (T), relative humidity (RH), extraterrestrial radiation (R_a), saturated (e_s) and actual vapour pressure (e_a) parameters. The models were created using the long-term average daily meteorological data of Kahramanmaraş province (1938 – 2020). The models were tested both these long-term average data and daily meteorological data measured at Kahramanmaraş Sütçü İmam University (KSU) in 2019 and 2020. Long-term average daily actual RS data varied between 4.99 – 32.56 MJ m⁻² day⁻¹. The estimated solar radiation values (\bar{R}_S) with the highest correlation ($r = 0.99$) with actual RS data were obtained with the RS_7 model, in which the parameters e_s , e_a , T, RH and R_a were used together. The \bar{R}_S values obtained using this model varied between 6.45 to 33.99 MJ m⁻² day⁻¹. For the RS_7, which showed the best performance among the seven models, mean absolute percentage error (MAPE) and root mean square error (RMSE) were determined as 4.17% and 0.69 MJ m⁻² day⁻¹, respectively. The daily RS values measured in KSU varied between 7.75 – 33.48 MJ m⁻² day⁻¹ and 10.51 – 30.23 MJ m⁻² day⁻¹ for 2019 and 2020. The \bar{R}_S values closest to the measured RS values were estimated with the RS_7 model. The estimated \bar{R}_S values by this model varied between 11.74 – 33.93 MJ m⁻² day⁻¹ and 13.93 – 31.57 MJ m⁻² day⁻¹ for 2019 and 2020, respectively. MAPE values were determined as 11.33% and 7.54%, respectively. It is concluded that this model can be used to estimate daily average solar radiation and will be an excellent alternative since it is compatible with the Kahramanmaraş conditions.

Introduction

Solar radiation is the basic data of many engineering and architectural applications. Also, due to decreasing reserves of fossil fuels in the world and the environmental damages of these fuels, solar radiation as a renewable clean energy source has been increasing in importance continuously. The radiation-emitting by the sun that reaches the outer surface of the atmosphere is defined as extraterrestrial radiation. Approximately 55% of extraterrestrial radiation directly reaches the earth's surface. This amount of radiation reaching the earth's surface is defined as solar radiation [1].

Solar radiation is one of the most important meteorological parameters taken into account in crop production activities for agricultural purposes and in the design of agricultural structures such as greenhouses and animal barns. Also evapotranspiration, which is the most basic data of many hydrological applications such as irrigation and drainage systems, designing ponds and dams, monitoring drought, estimating the safe yield of groundwater basins and watershed management, uses approximately three-fifths of solar radiation reaching the earth [2,3].

Evapotranspiration can be estimated with various empirical methods that have been developed based on air temperature, relative humidity, wind speed and solar radiation parameters [4]. These parameters, except solar radiation, can be measured continuously and regularly in rural areas where crops are cultivated. However, solar radiation cannot be measured continuously in rural areas due to the high cost of the devices used in its measurement and difficult maintenance and calibration procedures. It can only be measured by meteorological stations located in the city centers [5]. Since solar radiation varies based on vegetation, topography, altitude, particles in the atmosphere and level of cloudiness, solar radiation data measured in city centers cannot be used in rural areas. For these reasons, there is a need to develop estimation models that can be used to determine solar radiation. Many studies have been carried out considering this need in different regions of the world. Bristow and Campbell [6], Hargreaves et al. [7], Allen [8] and Chen et al. [9] developed empirical models that can be used to estimate the amount of solar radiation based on the daily maximum and minimum air temperature and extraterrestrial radiation parameters. Ögelman et al. [10], Toğrul and Onat [11]

suggested empirical models based on the daily actual (n) and maximum possible (N) sunshine hours and extraterrestrial radiation parameters. El-Sebaï et al. [5] presented a simple method to estimate solar radiation based on daily average air temperature, relative humidity and extraterrestrial radiation parameters for Jeddah, Saudi Arabia. Ertekin and Yıldız [12] developed empirical models using extraterrestrial radiation, solar declination, relative humidity, the ratio of sunshine duration (n/N), air temperature, soil temperature, cloudiness, precipitation, and evaporation for Antalya, Turkey. They showed that these models can estimate solar radiation within 2.00% mean absolute percentage error (MAPE) and $2.50 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ root mean square error (RMSE). Trabea and Mosalam Shaltout [13] executed solar radiation estimation models using the daily actual duration of sunshine, relative humidity, maximum air temperature, the pressure measured at sea level and vapour pressure in Egyptian conditions. It was concluded that correlation coefficients ranged from 0.89 to 0.99 as an expression of the level of compatibility between the actual solar radiation data and the solar radiation values estimated using these models. El-Mghouchi et al. [14] performed a solar radiation estimation model based on altitude, latitude, and longitude parameters for Northern Morocco. This model was tested with numerical simulation and MAPE values were below 15%. Shi et al. [15] conducted a solar radiation estimation model based on some geographical and meteorological parameters in China. MAPE and RMSE were founded as 10.57% and $1.51 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$.

The results obtained from these studies show that high accuracy solar radiation values can be estimated using empirical models that have been developed based on some meteorological and geographical parameters that can be easily measured or determined. Since solar radiation changes based on many factors, it should be either measured or estimated. It is impossible to measure solar radiation in every region and it is more economical to estimate it in an area that is needed. In this study, it is aimed to develop empirical models that can be used in the estimation of daily average solar radiation based on some parameters in Kahramanmaraş, Turkey which is located in the arid-semi arid climate zone.

Materials and Methods

Kahramanmaraş is located between the $37^\circ 36'$ north latitude and $36^\circ 55'$ east longitude as a geographical location. The altitude of the province is 568 m, the daily average air temperature is 16.90°C , relative humidity is 58.34%, the sunshine time is $6.77 \text{ hour day}^{-1}$ and the solar radiation intensity is $4.395 \text{ kWh m}^{-2} \text{ day}^{-1}$. The annual average daily solar radiation level is $4.40 \text{ kWh m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, and its distribution across the province is shown in Figure 1. The estimation models were created using the long-term average daily values of air temperature, relative humidity and solar radiation measured by Kahramanmaraş Regional Directorate of Meteorology (RDM) between 1938 – 2020. The geographical location of the RDM is $37^\circ 34' 33''$

North latitude and $36^\circ 54' 53''$ East longitude. The daily maximum (T_{\max} , RH_{\max}), minimum (T_{\min} , RH_{\min}) and average (T , RH) values of the air temperature and relative humidity data are given in Figure 2, Figure 3 and Figure 4, respectively. The daily solar radiation (RS) data are given in Figure 5 [16]. Long-term average daily T , RH and RS values were defined as Model Group Data (MGD).

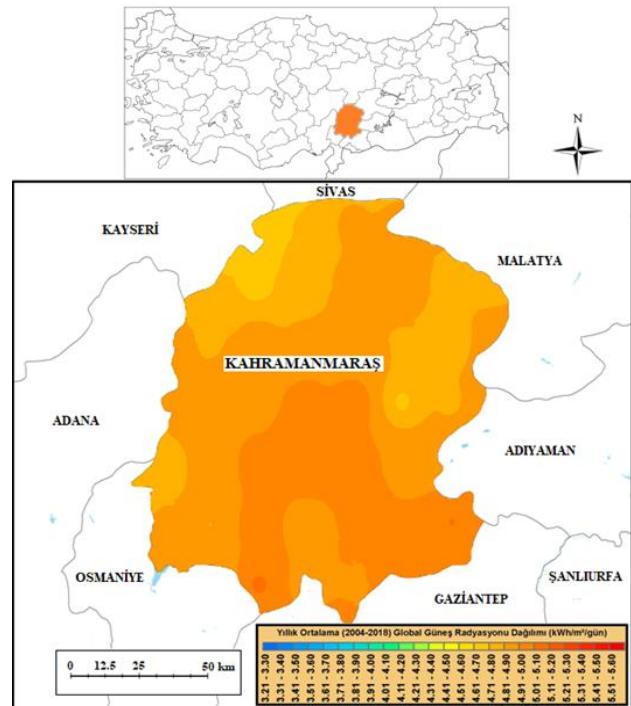


Figure 1. Annual average daily solar radiation distribution

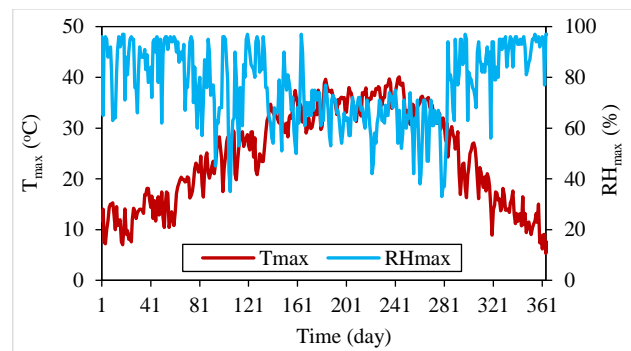


Figure 2. Daily maximum air temperature and relative humidity values for MGD

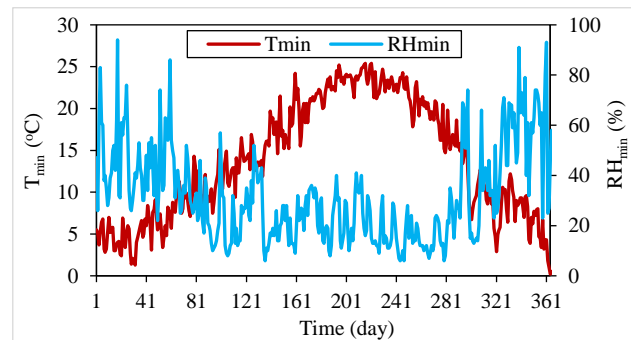


Figure 3. Daily minimum air temperature and relative humidity values for MGD

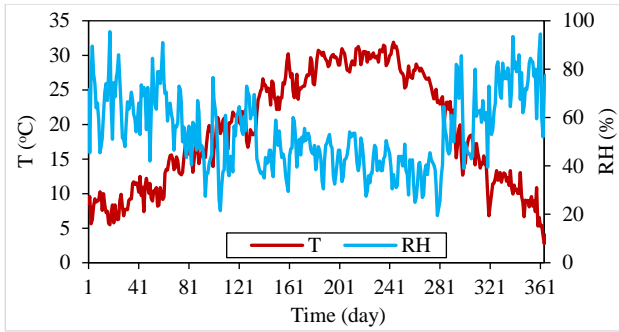


Figure 4. Daily average air temperature and relative humidity values for MGD

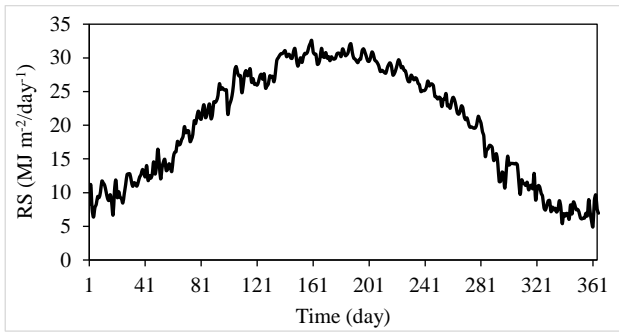


Figure 5. Daily average solar radiation values for MGD

In the study, T, RH, e_s and e_a variables were defined as meteorological parameters and also R_a as the geographical parameter. e_s and e_a values were calculated using Equations (1 – 4). R_a values were estimated by Equations (5 – 10), based on the geographical location [4,17].

$$e_{s_{max}} = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27 T_{max}}{T_{max} + 237.3}\right) \quad (1)$$

$$e_{s_{min}} = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27 T_{min}}{T_{min} + 237.3}\right) \quad (2)$$

$$e_s = \frac{e_{s_{max}} + e_{s_{min}}}{2} \quad (3)$$

$$e_a = \left[\left(\frac{e_{s_{min}} RH_{max}}{100}\right) + \left(\frac{e_{s_{max}} RH_{min}}{100}\right)\right] 2^{-1} \quad (4)$$

$$j = [(30.56 \text{ Month}) - 30 + \text{Day}] - 2 \quad (5)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos(2\pi.j.365^{-1}) \quad (6)$$

$$\delta = 0.409 \sin [(2.\pi.j.365^{-1}) - 1.39] \quad (7)$$

$$\emptyset = \text{Latitude}.\pi.180^{-1} \quad (8)$$

$$w_s = \arccos(-\tan\emptyset.\tan\delta) \quad (9)$$

$$R_a = 24 \frac{60}{\pi} G_{sc}.d_r[(w_s.\sin\emptyset.\sin\delta) + (\cos\emptyset.\cos\delta.\sin w_s)] \quad (10)$$

Where; $e_{s_{max}}$ and $e_{s_{min}}$, maximum and minimum saturated vapour pressures (kPa); e_s and e_a , saturated and actual vapour pressure (kPa); j, Julian date; Month, the number of the month(1 – 12); Day, the number of the day (1 – 31); d_r , inverse relative distance Earth-Sun; δ , solar declination (Radians); Latitude, latitude in degrees; \emptyset , latitude in radians; w_s , sunset hour angle (Radians); R_a , extraterrestrial radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) and G_{sc} , solar constant ($0.0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{ minute}^{-1}$).

Long-term average daily T, RH, RS, R_a , e_s , and e_a values used in the creation of the estimation models were defined as Model Group Data (MGD). Seven estimation models were developed by the nonlinear regression analysis method (Equation 11) using various combinations of MGD. T, RH, e_s , e_a and R_a were used as independent variables ($x_{1,i}$, $x_{2,i}$, $x_{3,i}$, $x_{4,i}$, $x_{5,i}$) and RS as dependent variable (y_i) in the creation of the models and the regression coefficients (a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5) were determined [18,19].

$$y_i = a_0.(x_{1,i})^{a_1}.(x_{2,i})^{a_2}.(x_{3,i})^{a_3}.(x_{4,i})^{a_4}.(x_{5,i})^{a_5} \quad (11)$$

Equations (12 – 27) were used to determine the regression coefficients a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 and a_5 . Firstly, the logarithm of Equation (11) was taken, and given in Equation (12). Then Equation (12) was edited and written as in Equation (13). Equation (14) was written make benefit of equation (13), according to the least squares method. Equations (15 – 20) were obtained by taking partial derivatives of Equation (14) according to a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 and a_5 , respectively. Equations (15 – 20) were edited equaling zero, and thus Equations (21 – 26) were obtained. The sum of squared errors (S_r) was minimized. The matrix given in Equation (27) was obtained using Equations (21 – 26). By solving this matrix, the regression coefficients a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 and a_5 were determined. Microsoft Excel program “solver” add-on was used to determine these coefficients.

$$\log y_i = \log a_0 + a_1 \log x_{1,i} + a_2 \log x_{2,i} + a_3 \log x_{3,i} + a_4 \log x_{4,i} + a_5 \log x_{5,i} \quad (12)$$

$$y_i = a_0 + a_1 x_{1,i} + a_2 x_{2,i} + a_3 x_{3,i} + a_4 x_{4,i} + a_5 x_{5,i} \quad (13)$$

$$S_r = (y_i - a_0 - a_1 x_{1,i} - a_2 x_{2,i} - a_3 x_{3,i} - a_4 x_{4,i} - a_5 x_{5,i})^2 \quad (14)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = -2 \sum (y_i - a_0 - a_1 x_{1,i} - a_2 x_{2,i} - a_3 x_{3,i} - a_4 x_{4,i} - a_5 x_{5,i}) \quad (15)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = -2 \sum x_{1,i} (y_i - a_0 - a_1 x_{1,i} - a_2 x_{2,i} - a_3 x_{3,i} - a_4 x_{4,i} - a_5 x_{5,i}) \quad (16)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_2} = -2 \sum x_{2,i} (y_i - a_0 - a_1 x_{1,i} - a_2 x_{2,i} - a_3 x_{3,i} - a_4 x_{4,i} - a_5 x_{5,i}) \quad (17)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_3} = -2 \sum x_{3,i} (y_i - a_0 - a_1 x_{1,i} - a_2 x_{2,i} - a_3 x_{3,i} - a_4 x_{4,i} - a_5 x_{5,i}) \quad (18)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_4} = -2 \sum x_{4,i} (y_i - a_0 - a_1 x_{1,i} - a_2 x_{2,i} - a_3 x_{3,i} - a_4 x_{4,i} - a_5 x_{5,i}) \quad (19)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_5} = -2 \sum x_{5,i} (y_i - a_0 - a_1 x_{1,i} - a_2 x_{2,i} - a_3 x_{3,i} - a_4 x_{4,i} - a_5 x_{5,i}) \tag{20}$$

$$\sum y_i = \sum a_0 + \sum a_1 x_{1,i} + \sum a_2 x_{2,i} + \sum a_3 x_{3,i} + \sum a_4 x_{4,i} + \sum a_5 x_{5,i} \tag{21}$$

$$\sum x_{1,i} \cdot y_i = \sum a_0 x_{1,i} + \sum a_1 x_{1,i}^2 + \sum a_2 x_{2,i} \cdot x_{1,i} + \sum a_3 x_{3,i} \cdot x_{1,i} + \sum a_4 x_{4,i} \cdot x_{1,i} + \sum a_5 x_{5,i} \cdot x_{1,i} \tag{22}$$

$$\sum x_{2,i} \cdot y_i = \sum a_0 x_{2,i} + \sum a_1 x_{1,i} \cdot x_{2,i} + \sum a_2 x_{2,i}^2 + \sum a_3 x_{3,i} \cdot x_{2,i} + \sum a_4 x_{4,i} \cdot x_{2,i} + \sum a_5 x_{5,i} \cdot x_{2,i} \tag{23}$$

$$\sum x_{3,i} \cdot y_i = \sum a_0 x_{3,i} + \sum a_1 x_{1,i} \cdot x_{3,i} + \sum a_2 x_{2,i} \cdot x_{3,i} + \sum a_3 x_{3,i}^2 + \sum a_4 x_{4,i} \cdot x_{3,i} + \sum a_5 x_{5,i} \cdot x_{3,i} \tag{24}$$

$$\sum x_{4,i} \cdot y_i = \sum a_0 x_{4,i} + \sum a_1 x_{1,i} \cdot x_{4,i} + \sum a_2 x_{2,i} \cdot x_{4,i} + \sum a_3 x_{3,i} \cdot x_{4,i} + \sum a_4 x_{4,i}^2 + \sum a_5 x_{5,i} \cdot x_{4,i} \tag{25}$$

$$\sum x_{5,i} \cdot y_i = \sum a_0 x_{5,i} + \sum a_1 x_{1,i} \cdot x_{5,i} + \sum a_2 x_{2,i} \cdot x_{5,i} + \sum a_3 x_{3,i} \cdot x_{5,i} + \sum a_4 x_{4,i} \cdot x_{5,i} + \sum a_5 x_{5,i}^2 \tag{26}$$

$$\begin{bmatrix} \sum n_{1,i}^2 & \sum x_{1,i}^2 & \sum x_{2,i}^2 & \sum x_{3,i}^2 & \sum x_{4,i}^2 & \sum x_{5,i}^2 \\ \sum x_{1,i}^2 & \sum x_{1,i}^2 & \sum x_{2,i}^2 \cdot x_{1,i} & \sum x_{3,i}^2 \cdot x_{1,i} & \sum x_{4,i}^2 \cdot x_{1,i} & \sum x_{5,i}^2 \cdot x_{1,i} \\ \sum x_{2,i}^2 & \sum x_{1,i}^2 \cdot x_{2,i} & \sum x_{2,i}^2 & \sum x_{3,i}^2 \cdot x_{2,i} & \sum x_{4,i}^2 \cdot x_{2,i} & \sum x_{5,i}^2 \cdot x_{2,i} \\ \sum x_{3,i}^2 & \sum x_{1,i}^2 \cdot x_{3,i} & \sum x_{2,i}^2 \cdot x_{3,i} & \sum x_{3,i}^2 & \sum x_{4,i}^2 \cdot x_{3,i} & \sum x_{5,i}^2 \cdot x_{3,i} \\ \sum x_{4,i}^2 & \sum x_{1,i}^2 \cdot x_{4,i} & \sum x_{2,i}^2 \cdot x_{4,i} & \sum x_{3,i}^2 \cdot x_{4,i} & \sum x_{4,i}^2 & \sum x_{5,i}^2 \cdot x_{4,i} \\ \sum x_{5,i}^2 & \sum x_{1,i}^2 \cdot x_{5,i} & \sum x_{2,i}^2 \cdot x_{5,i} & \sum x_{3,i}^2 \cdot x_{5,i} & \sum x_{4,i}^2 \cdot x_{5,i} & \sum x_{5,i}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sum a_{0,i} \\ \sum a_{1,i} \\ \sum a_{2,i} \\ \sum a_{3,i} \\ \sum a_{4,i} \\ \sum a_{5,i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i^2 \\ \sum x_{1,i}^2 \cdot y_i \\ \sum x_{2,i}^2 \cdot y_i \\ \sum x_{3,i}^2 \cdot y_i \\ \sum x_{4,i}^2 \cdot y_i \\ \sum x_{5,i}^2 \cdot y_i \end{bmatrix} \tag{27}$$

The estimation models were tested using daily meteorological data measured during the July – November periods of 2019 and 2020 in the research field at KSU. The research field is 8500 meters away from the RDM. The geographical location of the research field is 37° 35' 36" North latitude and 36° 49' 20" East longitude. The daily average T, R_H, RS, e_s, e_a and R_a data measured in the research field are defined as Test Group Data (TGD). Daily T, R_H and RS data were measured using the climate

station given in Figure 6. The sensors in this climate station were controlled by the Programmable Logic Controller (PLC) device. A software was prepared using the CODESYS structured text (ST) programming language and was loaded into PLC. Daily T, RH and RS data were measured by sensors via this software and recorded on the SD card.

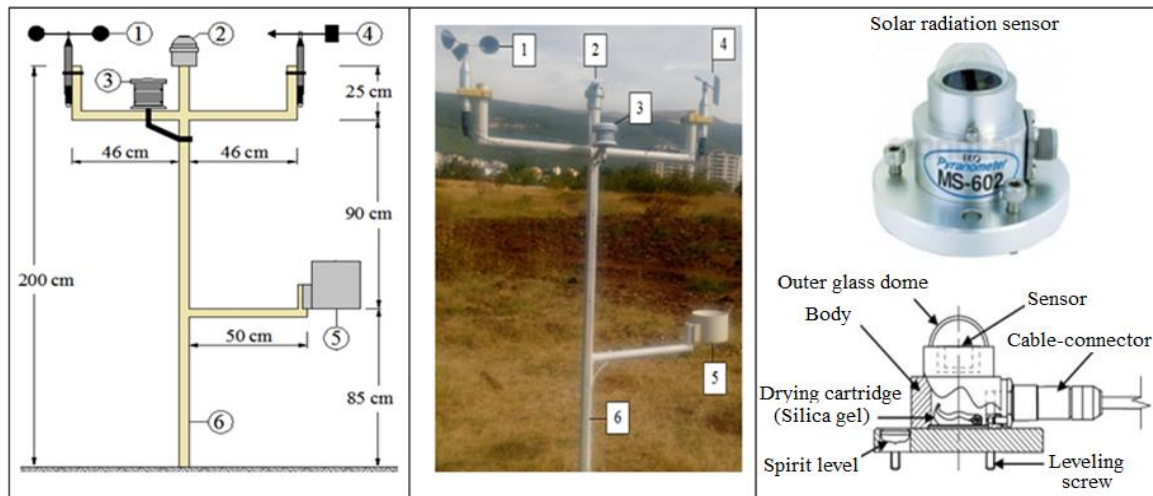


Figure 6. PLC controlled climate station: 1, wind speed sensor; 2, solar radiation sensor (pyranometer); 3, air temperature and humidity sensors; 4, wind direction sensor; 5, precipitation sensor; 6, platform

The MAE, MAPE and RMSE error values were considered as an expression of deviation amounts between estimated \widehat{RS} values and actual RS data. These error values were calculated using Equations (28 – 30) [20]. Lewis’s [20] interpretation of MAPE results is a means to judge the accuracy of the estimate—less than 10% is a “excellent” estimate, 10% to 20% is a “good” estimate, 20% to 50% is a “reasonable” estimate, and 50% or more is an “inaccurate” estimate.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|RS_i - \widehat{RS}_i|) \tag{28}$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|RS_i - \widehat{RS}_i|}{RS_i} 100 \right) \tag{29}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RS_i - \widehat{RS}_i)^2} \tag{30}$$

Where; MAE, mean absolute error (MJ m⁻² day⁻¹); MAPE, mean absolute percentage error (%); RMSE, root mean square error (MJ m⁻² day⁻¹); RS_i and \widehat{RS}_i , actual and estimated solar radiation values (MJ m⁻² day⁻¹); and n, is the number of observations.

Results and Discussion

Firstly e_s , e_a and R_a values were calculated using MGD. Then, estimation models were created using the nonlinear regression analysis method and given in Table 1. Correlation (r) and determination (R^2) coefficients, and MAE, MAPE, and RMSE values of the models were determined in order to reveal the statistical relationship levels between the estimated \widehat{RS} values using the models and the actual RS data measured by the RDM (Table 2). The daily average actual RS data measured by RDM varied between $4.99 - 32.56 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$.

Table 1. Solar radiation estimation models

Model	Estimation equation
RS_1	$\widehat{RS} = 410.8045 \text{ RH}^{-0.769}$
RS_2	$\widehat{RS} = 1.8583 \text{ T}^{0.813}$
RS_3	$\widehat{RS} = 0.2818 \text{ R}_a^{1.262}$
RS_4	$\widehat{RS} = 0.3175 \text{ T}^{0.197} \text{ R}_a^{1.056}$
RS_5	$\widehat{RS} = 1.0948 \text{ RH}^{-0.263} \text{ R}_a^{1.164}$
RS_6	$\widehat{RS} = 0.9569 \text{ T}^{0.067} \text{ RH}^{-0.229} \text{ R}_a^{1.106}$
RS_7	$\widehat{RS} = 0.4169 e_s^{-0.121} e_a^{-0.077} \text{ T}^{0.302} \text{ RH}^{-0.144} \text{ R}_a^{1.084}$

Table 2. The statistical relationships between actual and estimated solar radiation values for MGD

Model	r	R^2	MAE ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)	MAPE (%)	RMSE ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)	Accuracy
RS_1	0.58	0.33	5.70	37.40	6.50	Reasonable
RS_2	0.85	0.72	3.64	22.84	4.26	Reasonable
RS_3	0.96	0.93	1.30	8.86	1.60	Excellent
RS_4	0.98	0.95	0.99	7.17	1.25	Excellent
RS_5	0.99	0.97	0.62	4.85	0.81	Excellent
RS_6	0.99	0.97	0.57	4.62	0.75	Excellent
RS_7	0.99	0.98	0.49	4.17	0.69	Excellent

The \widehat{RS} values with the highest correlation with actual RS data were estimated by RS_3, RS_4, RS_5, RS_6 and RS_7 models. Correlation coefficients of these models varied between $0.96 - 0.99$. R_a was used as the common independent variable in all of these models. The accuracy level of the \widehat{RS} values estimated using these models was determined as “excellent” ($\text{MAPE} < 10\%$). As it is seen in Figure 7, the \widehat{RS} values estimated by RS_5, RS_6 and RS_7 models having the lowest MAE, MAPE and RMSE values almost completely overlapped with the actual RS values. The \widehat{RS} values estimated using these models varied between $7.88 - 34.59 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, $7.68 - 34.38 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ and $6.45 - 33.99 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, respectively. The \widehat{RS} values closest to the actual RS data realized at the annual average $20.18 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ level were estimated using RS_5, RS_6 and RS_7 models. The annual average values for these models were determined as $21.16 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, $21.11 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ and $21.02 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, respectively. Among the seven estimation models, the lowest MAPE (4.17%) and RMSE ($0.69 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) values were obtained with the RS_7 models.

It was observed that as the number of independent variables used in the estimation models increased, the accuracy level of the \widehat{RS} values increased, while the MAE, MAPE and RMSE decreased. Since RH and T parameters are used as the single independent variable in the RS_1 and RS_2 models, correlation coefficients ($0.58 - 0.85$) were lower than those other models using the R_a parameter. The accuracy level of the \widehat{RS} values estimated using these models were determined as “reasonable” ($\text{MAPE} = 20 - 50\%$). The lowest correlation ($r = 0.58$) and determination ($R^2 = 0.33$) coefficients among the seven estimation models were obtained by the RS_1 model, whose independent variable was RH. The highest MAPE (37.40%) and RMSE ($6.50 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) were obtained by this model. Similarly, Deniz and Atik [21] and Ayegba et al. [22] determined the correlation coefficients as 0.43 and 0.48 respectively for the single variable solar radiation estimation models developed using the RH parameter. It was observed that T has higher correlation ($r = 0.85$) with RS than RH. The determination coefficient, MAPE and RMSE values were obtained as 0.72, 22.84% and $4.26 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, respectively for the RS_2 model whose single independent variable was T. The accuracy of the \widehat{RS} values estimated with the RS_3 model, in which the R_a parameter were used as the only independent variable, was higher than the RS_2 model. For this model, the determination coefficient, MAPE and RMSE values were determined as 0.93, 8.86% and $1.60 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, respectively. The determination coefficient, MAPE and RMSE values for the RS_4 model, in which the daily T and R_a parameters were used as independent variables, were determined as 0.95, 7.17% and $1.25 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, respectively. Similarly, Ertekin and Yaldız [12] developed an estimation model based on daily average T and R_a parameters. Tabari et al. [23] were tested this model under arid and semi-arid conditions in Iran. The determination

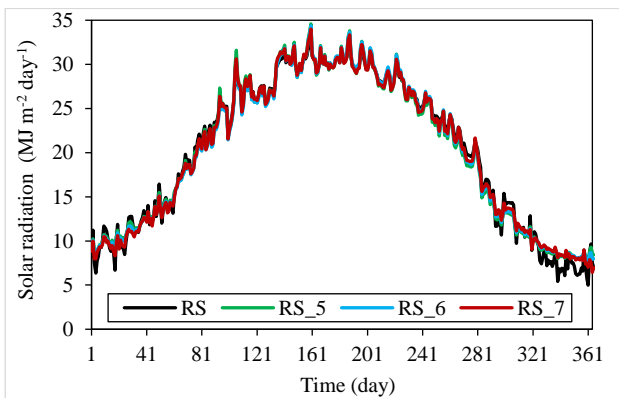


Figure 7. Daily average RS and \widehat{RS} values for MGD

coefficients and RMSE values determined as an expression of the deviation between the estimated \widehat{RS} values using this model and the actual RS values varied between 0.71 – 0.75, and 3.69 – 6.78 MJ m⁻² day⁻¹, respectively. Hargreaves et al. [7], Allen [8] and Chen et al. [9] developed estimation models based on the daily T_{max} , T_{min} and R_a parameters. Alsamamra [24] was tested these models in Palestine. The MAPE and RMSE values determined for these models varied between, 0.66 – 9.12% and 0.71 – 0.92 MJ m⁻² day⁻¹, respectively.

The main factors determining the amount of RS reaching the earth surface are the clearness index of the atmosphere resulting from the cloud density, and the water vapour content in the atmosphere. It is known that the source of the water vapour and the clouds are evaporation, and evaporation is related to T and RH. Ye and Fetzer [25] stated that the water vapour content in the atmosphere and therefore the RH changes based on the T, and decreases with the increasing T. The decrease in water vapour causes to decrease the amount of R_a absorbed or reflected by the water vapour and clouds, and therefore increase the amount of RS reaching the earth. It is seen that there is a strong relationship between T, RH and R_a parameters and the RS. For the RS_5 model in which RH and R_a were used as independent variables together, the determination coefficient, MAPE and RMSE values were determined as 0.97, 4.85% and 0.85 MJ m⁻² day⁻¹, respectively. The accuracy of the \widehat{RS} values estimated by the RS_6 model, in which the T, RH and R_a parameters were used together as independent variables, were higher than the RS_5. For this model, the determination coefficient, MAPE and RMSE values were determined as 0.97%, 4.62% and 0.75 MJ m⁻² day⁻¹, respectively. Similarly, El-Sebaei et al. [5] developed an estimation model based on daily T, RH and R_a parameters. Tabari et al. [23] were tested this model under semi-arid conditions in Iran. The determination coefficients and RMSE values determined for this model varied between, 0.036 – 0.174, and 7.34 – 13.45 MJ m⁻² day⁻¹, respectively. It has been observed that this model created in Saudi Arabia conditions is not suitable for Iran. Penman [26] and Monteith [27] reported that the vapour pressure deficit ($e_s - e_a$) in the atmosphere is directly related to RH and " $e_s - e_a$ " increased as the RH decreased. Therefore, the accuracy of the \widehat{RS} values estimated by RS_7 model in which e_s and e_a independent variables were used in addition to T, RH and R_a was higher than RS_6 model. Şarлак and Güven [28] realized a multivariate solar radiation estimation model with linear regression analysis by together using the parameters e_s , e_a , T, RH and wind speed in Gaziantep, Turkey. It was stated that 75.70% of the observed change in actual solar radiation data explained by this model ($R^2 = 0.76$). Similarly, the determination coefficient for the RS_7 model, in which the same parameters except wind speed were used as independent variables, was obtained as 0.98. In this model, R_a was used instead of wind speed.

To test the usability of estimation models in different regions, TGD measured in the research field was used. T_{max} , T_{min} , T, RH_{max} , RH_{min} and RH data were measured in

the research field in the 2019 and 2020, were given in Figure 8 and Figure 9, respectively. R_a , e_s and e_a values were determined based on these meteorological data and the geographical location of the research field. The daily average actual RS data measured in research field in 2019 and 2020 varied between in the 7.75 – 33.48 MJ m⁻² day⁻¹ and 10.51 – 30.23 MJ m⁻² day⁻¹ (Figure 10).

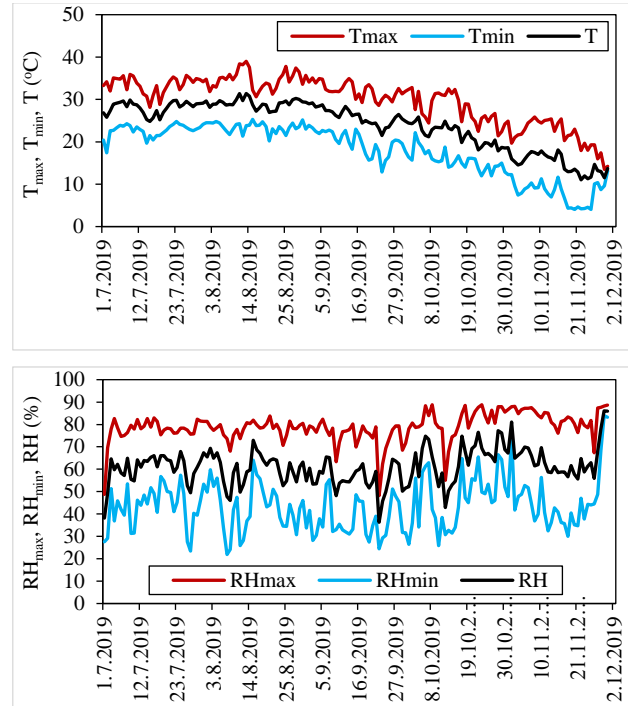


Figure 8. Daily maximum, minimum, average air temperature and relative humidity values for TGD (2019)

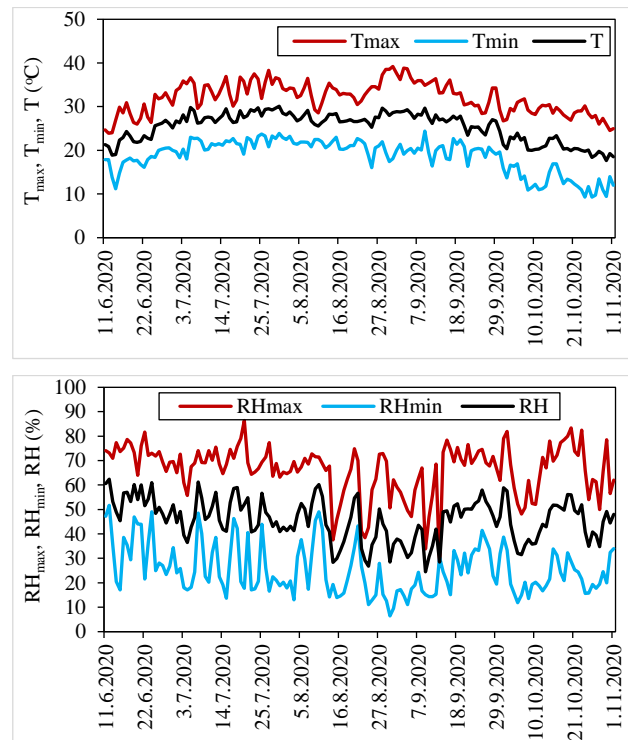


Figure 9. Daily maximum, minimum, average air temperature and relative humidity values for TGD (2020)

T, RH, e_s , e_a and R_a data were substituted in the estimation model equations and \bar{RS} values were determined for each model. MAE, MAPE and RMSE error values were

determined as an expression of the deviation amounts between estimated \bar{RS} values and actual RS data (Table 3).

Table 3. The statistical relationships between actual and estimated solar radiation values for TGD

Model	MAE ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)		MAPE (%)		RMSE ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)		Accuracy	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
RS_1	6.05	6.06	35.31	27.78	7.14	6.93	Reasonable	Reasonable
RS_2	4.65	4.24	34.68	21.95	5.59	5.04	Reasonable	Reasonable
RS_3	1.83	1.51	13.03	6.58	2.38	1.93	Good	Excellent
RS_4	2.05	1.81	14.31	8.05	2.69	2.21	Good	Excellent
RS_5	1.68	1.54	11.98	6.98	2.13	2.12	Good	Excellent
RS_6	1.53	1.63	11.48	7.42	2.05	2.19	Good	Excellent
RS_7	1.47	1.62	11.33	7.54	2.13	2.15	Good	Excellent

Similarly, RDM data, it was seen that the models with the lowest error values with the actual RS data were RS_5, RS_6 and RS_7 models. The \bar{RS} values estimated using these models varied between $11.05 - 36.54 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, $11.40 - 35.76 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, $11.74 - 33.93 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, respectively, in 2019, and varied between $13.40 - 31.87 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, $13.65 - 31.83 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, $13.93 - 31.57 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, respectively, in 2020 (Figure 10).

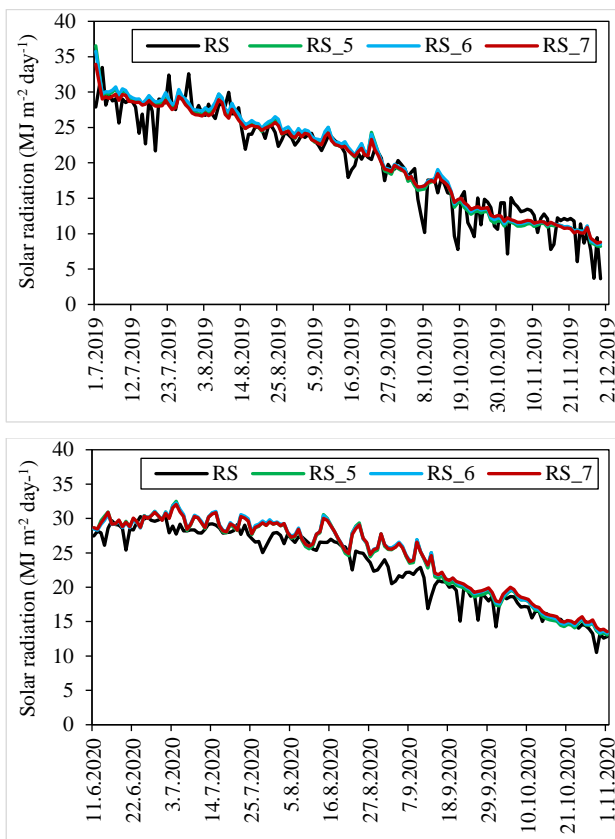


Figure 10. Daily average RS and \widehat{RS} values for TGD

Although there are differences between the maximum and minimum points of the \widehat{RS} and RS graphs, it is clearly seen in figure 8 that they generally move synchronized. The \widehat{RS} values closest to the actual RS data, which were realized at the average $22.48 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ and $22.27 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ levels in the July – October periods of 2019 and 2020,

respectively, were estimated using the RS_5, RS_6 and RS_7 models. The average \bar{RS} values for these models in 2019 were determined as $24.22 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, $23.50 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ and $21.69 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, respectively. The same values were obtained as $23.82 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, $23.92 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ and $23.95 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ for 2020, respectively. The accuracy level of \widehat{RS} values estimated using RS_5, RS_6 and RS_7 models were determined as “good” in 2019 (MAPE= 10 – 20%) and as “excellent” in 2020 (MAPE<10%).

Conclusions

In this study, seven solar radiation estimation models were developed with nonlinear regression analysis method by creating various combinations of daily average T, RH, R_a , e_s and e_a parameters. The models were created using long-term average daily meteorological data measured by Kahramanmaraş Regional Directorate of Meteorology (RDM) between 1938 – 2018 and tested using daily meteorological data measured at the Kahramanmaraş Sütçü İmam University (KSU) campus in 2019 and 2020. According to both RDM and KSU data, the closest values to the actual RS data was estimated with the RS_7 model ($\widehat{RS} = 0.4169 e_s^{-0.121} e_a^{-0.077} T^{0.302} RH^{-0.144} R_a^{1.084}$). The daily average actual RS data measured by RDM varied between $4.99 - 32.56 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$. The \bar{RS} values with the highest correlation with actual RS data was estimated by RS_7 model. The \bar{RS} values estimated using this model varied between $6.45 - 33.99 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$. The ratio in which the change in actual RS values can be explained by the RS_7 model was obtained as 98% ($R^2 = 0.98$). According to RDM data, MAPE was determined as 4.17% as an expression of the deviation amounts of \widehat{RS} values estimated by RS_7 from actual RS data. According to the 2019 and 2020 data measured at the KSU, the MAPE values for RS_7 were obtained as 11.33% and 7.54%, respectively. The accuracy level of \widehat{RS} values estimated using RS_7 model was determined as “good” in 2019 (MAPE= 10 – 20%) and as “excellent” in 2020 (MAPE<10%). It is concluded that the RS_7 model can be used to estimates daily average solar radiation and will be an excellent alternative since it is compatible with the Kahramanmaraş conditions.

References

- [1] S. Satheesh, K. Krishnamoorthy, "Radiative effects of natural aerosols: a review", *Atmospheric Environment*, vol. 39, no. 11, pp. 2089-2110, April, 2005, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2004.12.029
- [2] K. Wang, R. E. Dickinson, "A review of global terrestrial evapotranspiration: observation, modeling, climatology and climatic variability", *Reviews of Geophysics*, vol. 50, no. 2, pp. 1-54, May, 2012, DOI: 10.1029/2011RG000373
- [3] M. Wild, D. Folini, C. Schär, N. Loeb, E. G. Dutton, G. König-Langlo, "The global energy balance from a surface perspective", *Climate Dynamics*, vol. 40, no. 11-12, pp. 3107-3134, November, 2013, DOI:10.1007/s00382-012-1569-8
- [4] L. S. Pereira, R. G. Allen, M. Smith, D. Raes, "Crop evapotranspiration estimation with FAO 56: past and future", *Agricultural Water Management*, vol. 147, pp. 4-20, August, 2015, DOI: 10.1016/j.agwat.2014.07.031
- [5] A. A. El-Sebaei, F. S. Al-Hazmi, A. A. Al-Ghamdi, S. J. Yaghmour, "Global, direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces in Jeddah, Saudi Arabia", *Applied Energy*, vol. 87, no. 2, pp. 568-576, February, 2010, DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.06.032
- [6] K. L. Bristow, G. S. Campbell, "On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature", *Agricultural and forest meteorology*, vol. 31, no. 2, pp. 159-166, May, 1984, DOI: 10.1016/0168-1923(84)90017-0
- [7] G. L. Hargreaves, G. H. Hargreaves, J. P. Riley, "Irrigation water requirements for Senegal River Basin", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 111, no. 3, pp. 265-275, 1985.
- [8] R. G. Allen, "Self-calibrating method for estimating solar radiation from air temperature", *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 56-67, April, 1997, DOI: 10.1061/(ASCE)1084-0699(1997)2:2(56)
- [9] R. Chen, K. Ersi, J. Yang, S. Lu, W. Zhao, "Validation of five global radiation models with measured daily data in China", *Energy Conversion and Management*, vol. 45, no. 11-12, pp. 1759-1769, July, 2004, DOI: 10.1016/j.enconman.2003.09.019
- [10] H. Ögelman, A. Ecevit, E. Taşdemiroglu, "A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data", *Solar Energy*, vol. 33, no. 6, pp. 619-625, 1984, DOI: 10.1016/0038-092X(84)90018-5
- [11] I. T. Toğrul, E. Onat, "A study for estimating solar radiation in Elazığ using geographical and meteorological data", *Energy Conversion and Management*, vol. 40, pp. 1577-1584, 1999, DOI: 10.1016/S0196-8904(99)00035-7
- [12] C. Ertekin, O. Yıldız, "Estimation of monthly average daily global radiation on horizontal surface for Antalya, Turkey", *Renewable Energy*, vol. 17, no. 1, pp. 95-102, 1999, DOI: 10.1016/S0960-1481(98)00109-8
- [13] A. A. Trabea, M. A. Mosalam Shaltout, "Correlation of global solar radiation with meteorological parameters over Egypt", *Renewable Energy*, vol. 21, no. 2, pp. 297-308, 2000, DOI: 10.1016/S0960-1481(99)00127-5
- [14] Y. El-Mghouchi, A. El Bouardi, Z. Choulli, T. Ajzoul, "New model to estimate and evaluate the solar radiation", *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 3, no. 2, pp. 225-234, December, 2014, DOI: 10.1016/j.ijbsbe.2014.11.001
- [15] G. Shi, X. Qiu, Y. Zeng, "New method for estimating daily global solar radiation over sloped topography in China", *Advances in Atmospheric Sciences*, vol. 35, no. 3, pp. 285-295, March, 2018, DOI: 10.1007/s00376-017-6243-y
- [16] MGM, 2020. Records of Kahramanmaraş Regional Directorate of Meteorology, Kahramanmaraş.
- [17] R. G. Allen, W. O. Pruitt, J. L. Wright, T. A. Howell, F. Ventura, R. Snyder, D. Itenfisu, P. Steduto, J. Berengena, J. B. Yrisarry, M. Smith, L. S. Pereira, D. Raes, A. Perrier, I. Alves, I. Walter, R. Elliot, "A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ET₀ by the FAO56 Penman- Monteith method", *Agricultural Water Management*, vol. 81, pp. 1-22, 2006
- [18] S. V. Archontoulis, F. E. Miguez, "Nonlinear regression models and applications in agricultural research", *Agronomy*, vol. 107, no. 2, pp. 786-798 March, 2015. DOI: 10.2134/agronj2012.050
- [19] M. Yurdakul, C. Leylak, S. Buzrul, "Use of excel in food science 2: non-linear regression", *Food and Health*, vol. 6, no. 3, pp. 199-212, Jun, 2020, 10.3153/FH20021
- [20] C. D. Lewis, *Industrial and Business Forecasting Methods*. London, England: Butterworths Publishing, 1982, pp. 40-142.
- [21] E. Deniz, K. Atik, "A study for estimation solar radiation in Zonguldak using geographical and meteorological data", *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, vol. 12, no. 2, pp. 35-42, 2007, DOI: 10.17482/uujfe.21256
- [22] A. S. Ayegba, F. S. Al-Hazmi, A. A. Al-Ghamdi, S. J. Yaghmour, "Impacts of relative humidity and mean air temperature on global solar radiations of Ikeja, Lagos, Nigeria". *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 7, no. 2, pp. 315-319, February, 2017.
- [23] H. Tabari, P. Hosseinzadehtalaei, P. Willems, C. Martinez, "Validation and calibration of solar radiation equations for estimating daily reference

- evapotranspiration at cool semi-arid and arid locations”, *Hydrological Sciences Journal*, vol. 61, no. 3, pp. 610-619, December, 2015, DOI. 10.1080/02626667.2014.947293
- [24] H. Alsamamra, “Estimation of global solar radiation from temperature extremes: a case study of Palestine”, *Journal of Energy and Natural Resources*, vol. 8, no. 1, pp. 1-5, January, 2019, DOI. 10.11648/j.jenr.20190801.11
- [25] H. Ye, E. J. Fetzer, “Atmospheric moisture content associated with surface air temperatures over Northern Eurasia”, *International Journal of Climatology*, vol. 30, no. 10, pp. 1463-1471, January, 2009, DOI. 10.1002/joc.1991
- [26] H. L. Penman, “Natural evaporation from open water, bare soil and grass”, *Proceedings of The Royal Society A, Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 193, no. 1032, pp. 120-145, April, 1948, DOI. 10.1098/rspa.1948.0037
- [27] J. L. Monteith, “Evaporation and the environment”, *Symposia of the Society for Experimental Biology*, vol. 19, pp. 205-234, 1965.
- [28] N. Şarlak, A. Güven, “Estimation of global solar radiation: a case study of Gaziantep”, *İMO Teknik Dergi*, vol. 27, no. 3, pp. 7561-7568, 2016.



Araştırma Makalesi / Research Article

Bentonitin kireç ve tuf ile stabilizasyonu sonrasında meydana gelen dokusal değişimlerin Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) Spektroskopisi yöntemi ile incelenmesi

Investigation of the textural changes after the stabilization of bentonite with lime and tuff by Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy method

Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU*¹, Zülfü GÜROCAK²

¹Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, yaslan@firat.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3135-5926>

²Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, zgurocak@firat.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1049-8346>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 17 Haziran 2022
Revizyon 7 Temmuz 2022
Kabul 7 Temmuz 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

Kil, kompaksiyon, stabilizasyon, tuf, FT-IR

ÖZ

Puzolanik özeliğe sahip katkı malzemeleri kullanılarak killi zeminlerin geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesi olarak tanımlanan stabilizasyon, kolay uygulanabilir ve ekonomik bir yöntem olması nedeniyle günümüzde çok fazla tercih edilmektedir. Stabilizasyon, zemine eklenen katkı malzemesi ve zemin arasında meydana gelen puzolanik reaksiyonların bir sonucu olarak meydana gelmektedir. Bu çalışmada, katkı malzemesi olarak farklı özellikteki tüfler ile birlikte sönmüş kireç kullanılarak hazırlanan karışımların Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) kullanılarak bentonitin ve katkılı örneklerin mikroyapısal değişimleri incelenmiştir. Bu amaçla farklı oranlarda sönmüş kireç ile birlikte asidik ve bazik karakterli tüflerin katkı malzemesi olarak kullanıldığı örnekler hazırlanmış ve bu örneklerde 28 günlük kür sonrasında FT-IR analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda kireç ve tüflerin eklenmesiyle 1412 cm⁻¹, 1417 cm⁻¹, 1451 cm⁻¹, 1470 cm⁻¹, 1472 cm⁻¹ dalga sayısında yeni pikler oluşmuştur. Bu dalga sayılarında oluşan pikler kireçteki Ca-O bağlarının özelliğidir. Kireç miktarının artmasıyla Ca-O bağlarının oluşturduğu pik sayısı artmıştır. %10 kireç katkılı örnekte hem dalga sayısında hem de geçirgenlik değerlerinde en fazla değişim meydana gelmiştir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 17 June 2022
Received in revised form 7 July 2022
Accepted 7 July 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Clay, compaction, stabilization, tuff, FT-IR

ABSTRACT

Stabilization, which is defined as the improvement of the geotechnical properties of clayey soils by using additives with pozzolanic properties, is highly preferred today because it is an easily applicable and economical method. Stabilization occurs as a result of the pozzolanic reactions occurring between the additive material added to the soil and the soil. In this study, microstructural changes of bentonite and samples with additives were investigated by using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) of mixtures prepared using slaked lime with tuffs with different properties as additives. For this purpose, samples in which acidic and basic tuffs with slaked lime in different proportions were used as additives were prepared and FT-IR analyzes were performed on these samples after 28 days of curing. As a result of the analysis, new peaks were formed with the addition of lime and tuffs in wave numbers of 1412 cm⁻¹, 1417 cm⁻¹, 1451 cm⁻¹, 1470 cm⁻¹, 1472 cm⁻¹. The peaks occurring in these wave numbers are characteristic of the Ca-O bonds in lime. The number of peaks formed by the Ca-O bonds increased with the increase in the amount of lime. The maximum change occurred in both wave number and transmittance values in the 10% lime added sample.

Doi: 10.24012/dumf.1132252

* Sorumlu Yazar

Giriş

Mühendislik ihtiyaçlarını karşılamak için killi zeminlerin geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesi işlemi stabilizasyon olarak tanımlanmaktadır [1]. Kile eklenen çimento, uçucu kül, kireç, silis dumanı, tuf, şeyl, volkanik cam, diatomit ve volkanik kül gibi katkı maddeleri zemine ait elementlerle kimyasal reaksiyona girerek zeminin geoteknik özelliklerini iyileştirmektedir [2, 19]. Zemin ve katkı maddeleri arasında oluşan bu reaksiyonlar zeminin mikro yapısında değişimlere neden olmakta ve bu moleküler bağ değişimlerini karakterize etmek için infrared (titreşim) spektroskopisi (IR) olarak isimlendirilen yöntem kullanılmaktadır. IR maddenin infrared ışınlarını absorplaması üzerine kurulmuş olan hızlı, ekonomik ve yıkıcı olmayan fiziksel bir yöntemdir ve katı yüzeyindeki gaz ve sıvı adsorpsiyonunun incelenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [20, 21]. Infrared tekniğinde, moleküllerdeki kimyasal bağların titreşim, eğilme, bükülme, sallanma gibi tüm hareketleri için gerekli olan enerji, infrared ışınların elektro manyetik enerjisinden absorplanır. Bu absorpsiyonlar ile elde edilen IR spektrumları, molekül içindeki fonksiyonel grupları göstermekte ve ölçülen absorpsiyonlar pikler ile ifade edilmektedir. Infrared spektrumlar yoğunlukla dalga sayısı ile belirtilmekte ve pikler yapılarına göre zayıf, orta, kuvvetli; şekillerine göre ise dar, orta ve geniş olarak tanımlanmaktadır. Örneklerde malzeme cinsini belirlemek için IR spektrumları, piklerin bulunduğu yere, şekillerine ve yapılarına göre incelenmektedir [22]. Tanecik yüzeylerindeki molekül gruplarını tanımlamak için moleküler analizlerde de Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) tekniği kullanılmaktadır. Çimento, katkılı çimento ve puzolanlarla ilgili yapılan çalışmalarda infrared spektrumu başlıca 4 geniş band bölgesinde değerlendirilmektedir. Bunlar Silisyum-Alüminyum (Si-Al), Kükürt (S), Karbon (C) ve Hidroksit (OH) titreşim ve deformasyon bağlarındaki titreşim sayılarından oluşmaktadır ve titreşim sayıları aralarındaki farklar bölgesel olarak değerlendirilebilmektedir [23].

FT-IR analizlerindeki birinci bölge 400-1100 cm^{-1} bölgesidir. Bu titreşim dalgaları Si (Si-O ve Si-O-Si) ve Al (Al-O, Al-O-Al) bağlarına karşılık gelmektedir. Çimentonun bileşenlerinden kalsiyum silikatlar 930 ve 1000-1010 cm^{-1} dalga sayılarında, kalsiyum ve karbon titreşimleri ise 2920-2930 ve 2850-2855 cm^{-1} dalga sayıları aralığında daha yoğundur. Bütün çimentolarda bu kalsiyum silikat titreşimleri görülmektedir. 1000-1010 cm^{-1} dalga sayısında referans çimentoların titreşim bantları daha yoğundur [23].

S bölgesi ise ikinci bölgedir ve üç bölgede (1100-1300, 1620-1685 ve 3100-3600 cm^{-1}) S titreşim pikleri S-O bağı olarak görülmektedir. Bu bağlar çimento içeriğindeki alçı taşından kaynaklanmaktadır [24]. Üçüncü bölgeyi 700-1500 cm^{-1} titreşim dalgaları göstermektedir. Bu bölgede C (C-O) titreşim bağları vardır ve çimentonun karbonasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır [20, 25]. Dördüncü bölge ise su moleküllerini göstermekte olup, 3400-3450 ile 1620-1650 cm^{-1} dalga sayılarında titreşim ve deformasyon bağları (O-H) bulunmaktadır. Katkısız çimento harç örneklerinde daha düşük dalga sayılarında

(3409-3414 cm^{-1}) görülmekte ve susuz bileşiklerin varlığını göstermektedir. Portland çimentosu harçlarında ise daha yüksek dalga sayılarında (3441-3446 cm^{-1}) oluşmakta ve daha az oranda susuz bileşikler göstermektedir. Hidrate edilmiş çimentolarda portlandit 3650 cm^{-1} , tobermorite ise 3630 cm^{-1} dalga sayılarında görülmektedir [25, 26]. Minerallerdeki moleküler bağ karakterizasyonu ise bu bölgelerde oluşan dalga sayıları yardımıyla belirlenebilmektedir.

Birçok araştırmacı farklı özellikteki zeminlerde FT-IR analizleri yaparak, stabilizasyon sonrasında zeminde meydana gelen moleküler değişiklikleri incelemiştir. Bu çalışmalardan birkaçı aşağıda kısaca verilmiştir

Etin vd. [27] tarafından kilde yapılan FT-IR spektrometresine göre 749.2 cm^{-1} , 882.1 cm^{-1} , 909.8, 995.2 cm^{-1} , 1030 cm^{-1} , 1420.1 cm^{-1} , 1408.9 cm^{-1} , 3693 cm^{-1} , 3623 cm^{-1} , 3693 cm^{-1} dalga sayılarında pikler belirlenmiştir. Çalışmada, katkısız kilde olmayan ancak kireç ve çimento katkılı örneklerde 1420.1 cm^{-1} ve 1408.9 cm^{-1} dalga sayılarında yeni pikler ortaya çıktığı ve bu piklerin kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) ve kalsiyum alüminat silikat hidrat (C-A-S-H) bileşikler formunda kalsit oluşumu ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir.

Cheng vd. [28] FT-IR analizleriyle inceledikleri zeminin tipik absorpsiyon bandını 1100 cm^{-1} ile 950 cm^{-1} aralığında gözlemiş ve stabilizatörler ile zemin arasındaki puzolanik reaksiyonun bir sonucu olarak kil mineralinde Si-O-M⁺'nin (M⁺ = Na⁺, K⁺ veya Ca²⁺) azaldığını belirlemiştir. Araştırmacılar IR spektrumunda 1420 cm^{-1} 'de belirlenen absorpsiyon pikinin Hajimohammadi vd. [29] tarafından yapılan çalışmada verdiği bilgilere göre değerlendirerek, bu pikin kireçteki Ca-O'nun gerilme titreşiminden kaynaklandığı ifade etmişlerdir. Kür süresinin artmasıyla önemli ölçüde azalan bu pik, 28 günlük kürlemeden sonra kaybolmuştur. Araştırmacılara göre kireç tüketimi, zeminin karışık stabilizatörlerle reaksiyona girdiğini ve yeni mineraller üretildiğini göstermektedir. Bu çalışmada, kireç ve uçucu kül karışımlarının kullanılmasının, kürlenme süresiyle birlikte kil minerallerinde kademeli bir azalmaya neden olduğu, ayrıca C-A-H ve bazı amorf mineraller gibi çeşitli yeni minerallerin ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Tabak vd. [30] Reşadiye bentonitinde yaptığı çalışmada, kilin FT-IR spektrometresinde 3600-3400 cm^{-1} dalga sayısındaki piklerin OH gerilmeleri ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar 1430-1382 cm^{-1} ve 888 cm^{-1} 'deki pikleri Bukka vd. [31]'nin yaptığı çalışmaya göre değerlendirmiş ve bu piklerin sırasıyla kalsit ve dolomitin CO₃ gerilmeleri ve OH-bağlı Fe³⁺ ve Al³⁺'nin bükülme moduyla ilişkili olduğu ifade etmişlerdir. Ayrıca, çalışmada elde edilen 465-1052 cm^{-1} 'deki piklerin Si-O-Si gerilmesi, 524 ve 530 cm^{-1} 'deki piklerin Al-Si-O eğilme moduyla ve 798 cm^{-1} 'deki pikin ise silis ve kuvarsın Si-O gerilmesi ile ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Eisazadeh vd. [32] kireç ile stabilize ettikleri montmorillonitik ve lateritik killerde yaptıkları Katı Hal Nükleer Manyetik Rezonans (SS-NMR) ve FT-IR Spektroskopisi çalışmaları sonucunda FT-IR spektrometresinde 3632 cm^{-1} ve 3446 cm^{-1} 'de iki

absorpsiyon piki belirlenmişlerdir. Bu pikleri Madejova ve Komadel [33] tarafından yapılan çalışmaya göre değerlendiren araştırmacılar, bu piklerin montmorilloniti karakterize eden yapısal hidroksil grupları ve OH gerilme titreşimleriyle ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca 1640 cm^{-1} 'deki pikin suyun OH grubunun gerilme titreşimleriyle, 913 cm^{-1} ve 885 cm^{-1} 'deki piklerin AlAlOH ve AlFeOH 'ye ait olduğunu, 466 cm^{-1} 'deki pikin Si-O-Si deformasyon titreşimini gösterdiğini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, 524 cm^{-1} 'deki pikin Al-O-Si gruplarının deformasyon moduna, 620 cm^{-1} 'deki pikin Al-O ve Si-O düzlem dışı titreşimlerine, 778 ve 791 cm^{-1} piklerinin ise Marel ve Beutelspacher [34] tarafından yapılan çalışmaya göre kuvars piklerine karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Çalışmada kireç katkılı karışımlarda 1420 cm^{-1} 'de yeni bir pik gözlenmiş, bu pikin kireçteki Ca-O bağlarının özelliği olduğu ve %0 kireç içeriği için pik yokken artan kireç içeriği ile ortaya çıktığı belirlenmiştir. Kürlenme süresi ile azalan bir yoğunluk gösteren bu absorpsiyon bandının, Gunasekaran ve Anbalagan [35] ve Nacamoto [36] tarafından yapılan araştırma sonuçlarına göre kirecin CaOH titreşim bandıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir.

Bandipally [37] Na-Bentonit kullandığı FT-IR analizlerinde 3694 cm^{-1} , 3620 cm^{-1} , 3420 cm^{-1} , 1636 cm^{-1} , 1100 cm^{-1} - 900 cm^{-1} arasında, 795 cm^{-1} , 688 cm^{-1} dalga sayılarında pikler belirlemiştir. Araştırmacı kireç katkısıyla IR spektrumunda meydana gelen değişikliklerin, puzolanik reaksiyonlarla oluşturulan çimentolu ürünlerinin hidrasyonu için moleküler ve adsorbe edilmiş su tüketimi sonucunda meydana geldiğini ifade etmiştir. Çalışmada 1418 cm^{-1} civarında, katkısız bentonit kilinin IR spektrumunda bulunmayan bir başka pik gözlenmiştir. Bu pikin kireçteki Ca-O bağlarının özelliği olduğu ve %0 kireç içeriği için pik yokken (veya ~ % 100 geçirgenlik) artan kireç içeriği ile geçirgenlik değerinin azaldığı belirlenmiştir.

Kechouane ve Nechnech [38] yaptıkları çalışmada kompaksiyonun şişme basıncı üzerindeki etkisini incelemiş ve kile kireç eklenmesi sonucunda şişme basıncının azaldığını belirlemişlerdir. Çalışmada FT-IR spektrometresine göre elde edilen 3620 cm^{-1} 'deki absorpsiyon bandının montmorilloniti karakterize eden oktahedral tabakanın O-H gruplarının gerilme titreşimleriyle, 3430 cm^{-1} pikteki absorpsiyonun ise montmorillonit içindeki adsorbe edilmiş su molekülleriyle ilişkili olduğu belirtilmektedir. Araştırmacılara göre 1630 cm^{-1} 'deki pik suyun OH grubunun gerilme titreşimlerine, 1468 cm^{-1} 'deki pik CH_2 gruplarının deformasyon titreşimine, 1040 cm^{-1} 'deki pik ise Si-O bağının gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir.

Saeed vd. [39] tarafından kaolin kilinde yapılan FT-IR spektrometresinde 3696 cm^{-1} , 3620 cm^{-1} , 1638 cm^{-1} , 1115 cm^{-1} , 1031 cm^{-1} , 1007 cm^{-1} , 912 cm^{-1} , 794 cm^{-1} , 698 cm^{-1} , 540 cm^{-1} ve 470 cm^{-1} dalga sayılarında pikler gözlemlenmiştir. Ayrıca 1422 cm^{-1} 'de bir başka küçük pikin varlığı kalsit varlığına işaret ettiği ve kireç katkılı örneklerde yapılan FT-IR spektrumlarında önemli bir değişiklik gözlenmediği belirtilmiştir. Çalışmada 1425 cm^{-1} bandında artan absorpsiyon yoğunluğunun, kireç tarafından

sağlanan artan kalsiyum kaynaklarından dolayı meydana geldiği belirtilmiştir.

Özcan [40] doğal bentonitin FT-IR spektrumunda 3435 ve 3626 cm^{-1} 'de Si-O yüzeyine zayıf olarak hidrojen bağı ile bağlı su moleküllerinin gerilim titreşim bandını, 3435 cm^{-1} 'de ise adsorplanan su moleküllerinin yayvan bandını belirlemiştir. Çalışmada 1640 cm^{-1} dalga sayısındaki pikin suyun hidroksilinin deformasyon bandı ve 1040 cm^{-1} 'da gözlenen pikin ise Si-O-Si gruplarının Si-O gerilim titreşimiyle ilgili olduğu belirtilmiştir. 522 cm^{-1} ve 468 cm^{-1} 'de gözlenen bantların ise sırasıyla Si-O-Al ve Si-O-Si bükülme titreşimlerinin varlığını gösterdiği ifade edilmiştir.

Bilgiç ve Bilgiç [41] farklı killerde yaptıkları çalışmada, bentonitin FT-IR analiziyle 3620 cm^{-1} 'deki geniş pikin montmorillonit bakımından zengin smektit kilinin göstergesi olan Al(Mg)-O-H gerilmesinden, 3410 cm^{-1} 'deki pikin, su molekülü katyonlarında bulunan H-O-H gerilmesi (H_2O için) H-OH bağlarından, 1635 cm^{-1} 'deki pikin H-O-H bükülmesinin gerilme titreşiminden kaynaklandığını belirlemiştir. Araştırmacılar Tabak vd. [30] tarafından yapılan çalışmadaki verileri dikkate alarak 840, 980, 1030 ve 1277 cm^{-1} 'deki piklerin Si-O titreşimleriyle, 470 cm^{-1} 'deki pikin, Si-O-Si titreşimleriyle, 525 cm^{-1} 'deki pikin ise Si-O-Al titreşimleriyle ilgili olduğunu ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada katkı malzemesi olarak kireç ile asidik ve bazik özellikteki tüflerin kullanımı ile stabilize edilen bentonitin mikro yapısında meydana gelen değişikliklerin belirlenmesi için FT-IR Spektroskopisi analizleri yapılmıştır. Bentonite farklı oranlarda eklenen kireç ve tüf katkılarının bentonitin yapısal birimlerinde meydana getirdiği moleküler değişiklikler araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Bentonit ve katkı malzemelerinin özellikleri

Deneysel çalışmalarda, Tokat-Reşadiye (Turkey) kil ocağında üretilen katkısız bentonit kullanılmıştır. Montmorillonit ailesine bağlı bir kil minerali olan bentonit kili, alüminyum ve magnezyum içeriği bakımından zengin volkanik kül, lav ve tüflerin kimyasal ayrışması ya da bozulması sonucunda meydana gelen [42, 43] ve kimyasal olarak hidratlı alüminyum ve magnezyum silikatlardan oluşmaktadır. En önemli özelliği su ile etkileşime geçtiğinde şişerek hacimlerinin büyük oranda artmasıdır ve dane boyutu 2 μm (0.002 mm) veya daha küçüktür. İyonlaşma kapasitesi yüksek olan bentonitin plastisitesi yüksektir, yoğunluğu yaklaşık 2.6 gr/cm^3 olan koloidal özelliğe sahip bir kil türüdür [44]. Bentonitte yapılan XRF analiz sonuçlarına göre bu çalışmada kullanılan kil Na-bentonittir [45].

Katkı malzemesi olarak kullanılan asidik karakterli tüf Gümüşhane ili ve civarında yüzeyleme veren Kızılkaya Formasyonu'ndan, bazik karakterli tüfler ise Elazığ ili Ağın bölgesinde yüzleme veren Karabakır Formasyonu'ndan derlenmiştir. XRF analizi sonuçlarına göre Kızılkaya Formasyonu'ndan derlenen tüflerin SiO_2 miktarı %63'den fazladır ve tüf asidik karakterlidir. Karabakır Formasyonu'na ait tüflerde kimyasal olarak tüflerin SiO_2 miktarı %45'den azdır ve bazik karakterlidir [45]. Bu çalışmada Karaca Harput CL 80.S marka sönmüş kireç

kullanılmıştır ve kimyasal malzeme satan firmalardan temin edilmiştir. Bentonit ve katkı malzemelerinin kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bentonit ve katkı malzemelerinin kimyasal özellikleri [45].

Ana Oksit (%)	Bentonit	Sönmüş Kireç	Asidik Tüf	Bazik Tüf
SiO ₂	62.50	1.55	69.10	31.40
Al ₂ O ₃	17.60	0.44	20.70	7.15
Fe ₂ O ₃	3.63	0.14	0.47	3.49
MgO	2.00	0.57	0.19	2.11
CaO	2.86	70.10	0.76	28.70
Na ₂ O	2.58	0.26	0.39	0.60
K ₂ O	0.92	0.07	1.43	0.87
TiO ₂	0.32	0.04	0.29	0.41
MnO	0.10	0.05	<0.01	0.03
P ₂ O ₅	0.14	0.04	0.06	0.09
SO ₃	0.076	1.39	0.90	0.036
Cr ₂ O ₃	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
Sr	0.073	0.015	0.024	0.033
Kızdırma kaybı	6.60	26.40	5.50	24.80

K: Kil, KRÇ: Sönmüş Kireç, AT: Asidik Tüf, BT: Bazik Tüf

2.2 Örnek Hazırlama

Asidik ve bazik karakterli tüfler yapılan arazi çalışmaları ile derlenmiş ve laboratuvara getirilen tüf blokları öğütülerek 200 nolu elekten elenmiştir. İlk olarak kil etüvde 24 saat 105°C'de kurutulduktan sonra kile farklı oranlarda sönmüş kireç, asidik tüf ve bazik tüf katkıları eklenmiş iyice karıştırılarak Standard proktor deneyi ve FT-IR analizlerinde kullanılacak örnekler hazırlanmıştır.

2.3. Standard proktor deneyi

Deneysel çalışmaların ilk aşamasında, Tablo 2'de verildiği gibi farklı oranlarda KÇT, AT ve BT katkıları eklenerek hazırlanmış olan katkılı örneklerde ve katkısız bentonitte (K) optimum su içeriği (w_{opt})'ni belirleyebilmek amacıyla ASTM D698 [46] standardına göre standard proktor deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Standard proktor deneylerine ait sonuçlar

Örnek	w_{opt} (%)	γ_{kmax} (kN/m ³)
K	38.50	12.36
K+%5 KRÇ	40.91	10.49
K+%10 KRÇ	43.00	10.30
K+%5 AT	48.00	10.77
K+%5 BT	40.00	10.98
K+%5 AT+%5 KRÇ	54.00	9.91
K+%5 BT+%5 KRÇ	50.00	9.71
K+%5 AT+%10 KRÇ	65.00	8.83
K %5 BT+%10 KRÇ	56.00	9.61

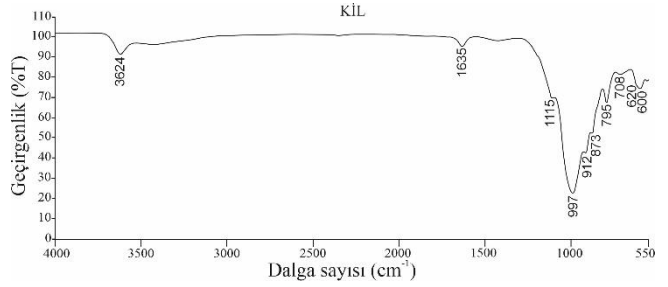
2.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) Spektroskopisi Çalışmaları

Çalışmanın ikinci aşamasında, katkısız ve katkılı örnekler Standart proktor deney ile belirlenen optimum su içeriklerinde sıkıştırılmış, proktor kalıbından silindirik

örnekler halinde çıkartılıp 28 gün uygun şartlarda oda sıcaklığında kür uygulandıktan sonra ATR Ünitesi Thermo Scientific™ Nicolet™ iS5 FT-IR Spektroskopisi cihazıyla 400-4000 cm⁻¹ dalga boyunda, katı haldeki örneklerde FT-IR analizleri yapılmıştır. Yapılan FT-IR analizlerine ait değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

2.4.1. Katkısız kilin FT-IR analizi değerlendirmesi

Katkısız kilin FT-IR spektrumunda 600 cm⁻¹, 620 cm⁻¹, 708 cm⁻¹, 795 cm⁻¹, 873 cm⁻¹, 912 cm⁻¹, 997 cm⁻¹, 1115 cm⁻¹, 1635 cm⁻¹, 3624 cm⁻¹ dalga sayılarında pikler oluşmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Katkısız kile ait FT-IR spektrumu

Belirlenen ilk pik 3624 cm⁻¹ pikidir ve bu pik kilin iç hidroksil gruplarının O-H gerilim titreşimleriyle ilişkilidir. Elde edilen bu değer literatürde verilen değerlerle uyumludur. Nitekim Etim vd. [27] 3623 cm⁻¹ ve 3693 cm⁻¹ piklerinin yapısal hidroksil gruplarının O-H gerilmesiyle ilişkili olduğunu ifade ederken, Tabak vd. [30] 3631 cm⁻¹'deki pikin, Eisazadeh vd. [32] 3632 cm⁻¹'deki pikin, Bandipally [37] ve Saeed vd. [39] 3696 cm⁻¹ ve 3620 cm⁻¹ dalga sayısındaki piklerin, Kechouane ve Nechnech [38] ise 3625 cm⁻¹'deki pikin montmorilloniti karakterize eden oktahedral tabakanın O-H gruplarının gerilme titreşimleriyle ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca Özcan [40] çalışmasında 3626 cm⁻¹ dalga sayısında O-H gerilmesini belirlemiştir.

Bu çalışmada belirlenen ikinci pik 1635 cm⁻¹ pikidir ve bu pikin suyun H-O-H titreşimleriyle ilişkili olduğunu söylemek mümkündür. Literatürdeki verilere [30,32] göre 1640 cm⁻¹ dalga sayısındaki piklin, Bandipally [37] ise 1636 cm⁻¹ dalga sayısındaki pikin başlıca O-H ve suyun H-O-H bandından kaynaklandığını belirtmektedir. Kechouane ve Nechnech [38] 1630 cm⁻¹'deki pikin O-H grubunun gerilme titreşimleriyle ilişkili olduğunu belirtirken, Saeed vd. [39] 1638 cm⁻¹'deki pikin su moleküllerinin H-O-H titreşimleriyle ilişkili olduğunu ifade etmektedirler.

Katkısız kilin FT-IR spektrumunda belirlenen bir diğer pik 1115 cm⁻¹ dalga sayısındaki piktir ve bu pik Si-O gerilme titreşimleriyle ilişkilidir. Bu konuda yapılmış çalışmalarda [27, 38] 1030 cm⁻¹ dalga sayısındaki pikin montmorillonit kil minerallerinin Si-O düzlem içi gerilme titreşimlerine karşılık geldiğini ifade edilmiştir. Ayrıca Tabak vd. [30] ile Saeed vd. [39] 1115 cm⁻¹ dalga sayısında Si-O gerilme titreşimlerini gözlemişlerdir.

Bu çalışmada kil minerallerinin Si-O ve Al-O bantları 912 cm⁻¹ ve 997 cm⁻¹ dalga sayılarında titreşim pikleri vermektedir. Benzer şekilde önceki çalışmalarda 910 cm⁻¹ ve 995 cm⁻¹ dalga sayılarında Si-O ve Al-O bağlarının

titreşim pikleri verdiğini belirlemiştir [37] ve bu değerler bu çalışmada kullanılan bentonit kilinin pikleriyle benzerdir.

Kilin FT-IR spektrumunda 873 cm^{-1} dalga sayısında bir başka pik belirlenmiştir. Bu pikin OH bağlı Fe^{3+} ve Al^{3+} 'nın eğilme titreşimleriyle ilişkili olduğunu söylemek mümkündür ve bu pik değeri literatürle uyumludur. Şöyle ki Etim vd. [27] 882.1 cm^{-1} 'deki pikin AlFeOH deformasyonuna, 909.8 ve 995.2 cm^{-1} 'deki pikin ise AlAlOH deformasyonuna karşılık geldiğini ifade etmişlerdir. Tabak vd. [30] çalışmalarında AlAlOH ve AlFeOH bağlarını 888 cm^{-1} ve 999 cm^{-1} dalga sayılarında, Eisazadeh vd. [32] 885 cm^{-1} ve 913 cm^{-1} dalga sayılarında belirlemiştir. Ayrıca Saeed vd. [39] 912 cm^{-1} dalga sayısındaki pikin hidroksil gruplarının OH deformasyonuna karşılık geldiğini belirtmektedirler.

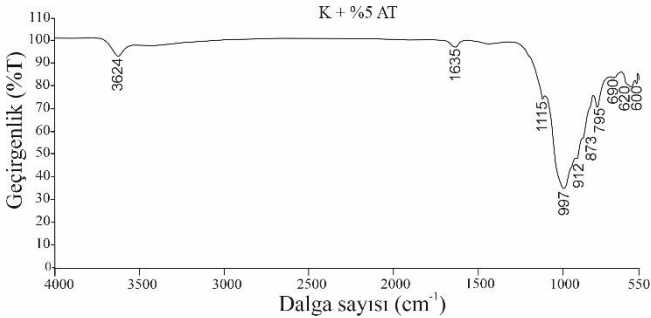
Bu çalışmada belirlenen 795 cm^{-1} dalga sayısındaki pik silis ve kuvarsın Si-O gerilme titreşimleri ile ilişkilidir. Benzer şekilde Etim vd. [27] 749.2 cm^{-1} , Tabak vd. [30] 798 cm^{-1} , Eisazadeh vd. [32] 778 cm^{-1} ve 791 cm^{-1} dalga sayısında, Bandipally [37] 688 ve 795 cm^{-1} , Saeed vd. [39] ise 794 cm^{-1} piklerinde Si-O gerilme titreşimlerini belirlemiştir.

Kalsit ve dolomitin düzlem içi Si-O gerilmesine bağlı olarak oluşan titreşim piki, bu çalışmada 708 cm^{-1} dalga sayısında belirlenmiştir. Nitekim Tabak vd. [30] 710-715 cm^{-1} aralığındaki dalga sayısındaki pikin, Saeed vd. [39] ise 698 cm^{-1} dalga sayısındaki pikin, kalsit ve dolomitin Si-O gerilmesiyle ilişkili olduğu ifade etmektedirler.

Katkısız kilin FT-IR spektrumunda 600 cm^{-1} ve 620 cm^{-1} dalga sayısında iki farklı pik daha belirlenmiştir. Bu pikler Al-O ve Si-O gerilmesiyle ortaya çıkmıştır. Ayrıca Al-O ve Si-O bağlarını veren titreşim dalga piki Eisazadeh vd. [32] tarafından 620 cm^{-1} olarak belirlenmiştir.

2.4.2. K + %5 AT örneğinin FT-IR analizi değerlendirilmesi

Kile %5 AT katkısı eklendiğinde FT-IR spektrumunda 600 cm^{-1} , 620 cm^{-1} , 690 cm^{-1} , 795 cm^{-1} , 873 cm^{-1} , 912 cm^{-1} , 997 cm^{-1} , 1115 cm^{-1} , 1635 cm^{-1} , 3624 cm^{-1} dalga sayılarında pikler belirlenmiştir (Şekil 2).



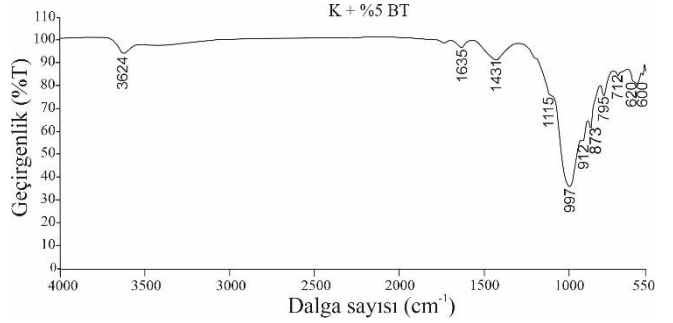
Şekil 2. K + %5 AT örneğine ait FT-IR spektrumu

Bu pikler katkısız kilde belirlenen pikler ile benzerdir ve bu veri %5 oranındaki asidik tüf katkısının kilin yapı bileşenlerinde bir değişim meydana getirmediğini göstermektedir. Bunun nedeni olarak asidik tüfün CaO oranının %0.76 gibi çok düşük bir değerde olması, bu CaO miktarının puzolanik reaksiyon oluşturmada yetersiz kaldığı ve bu nedenle puzolanik reaksiyonun oluşmadığı

şeklinde açıklanabilir. Bu sonuç puzolanik reaksiyonun oluşabilmesi için ilave CaO'ya gereksinim duyulduğunu açık şekilde göstermektedir.

2.4.3. K + %5 BT örneğinin FT-IR analizi değerlendirilmesi

K+%5 BT örneğinde yapılan FT-IR analizi ile 600 cm^{-1} , 620 cm^{-1} , 712 cm^{-1} , 795 cm^{-1} , 873 cm^{-1} , 912 cm^{-1} , 997 cm^{-1} , 1115 cm^{-1} , 1431 cm^{-1} , 1635 cm^{-1} , 3624 cm^{-1} dalga sayılarında pikler belirlenmiştir (Şekil 3).

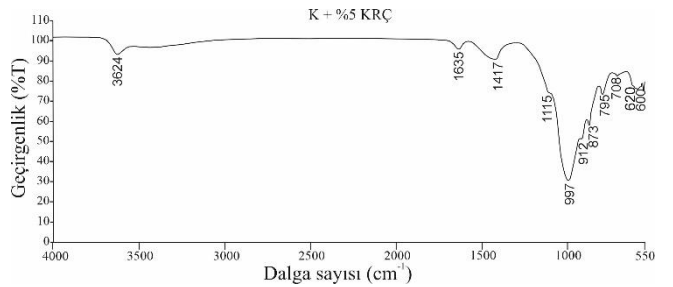


Şekil 3. K + %5 BT örneğine ait FT-IR spektrumu

Bu örnekte katkısız kilden farklı olarak 1431 cm^{-1} dalga sayısında yeni bir pik gözlenmiştir. Bu pik kalsit ve dolomitin CO_3 gerilmesiyle ilişkilidir ve CaO'dan kaynaklanmaktadır. Nitekim bazik tüfün bileşiminde %28.70 oranında CaO bulunmaktadır [45] ve 1431 cm^{-1} dalga sayısında gözlenen pik, CaO değeri yüksek olan bazik tüf katkısıyla puzolanik reaksiyonların geliştiğini göstermektedir.

2.4.4. K + %5 KRÇ örneğinin FT-IR analizi değerlendirilmesi

%5 KRÇ katkılı örneğin FT-IR analiz sonuçları incelendiğinde FT-IR spektrumunda 600 cm^{-1} , 620 cm^{-1} , 708 cm^{-1} , 795 cm^{-1} , 873 cm^{-1} , 912 cm^{-1} , 997 cm^{-1} , 1115 cm^{-1} , 1417 cm^{-1} , 1635 cm^{-1} , 3624 cm^{-1} dalga sayılarında pikler gözlenmiştir (Şekil 4).



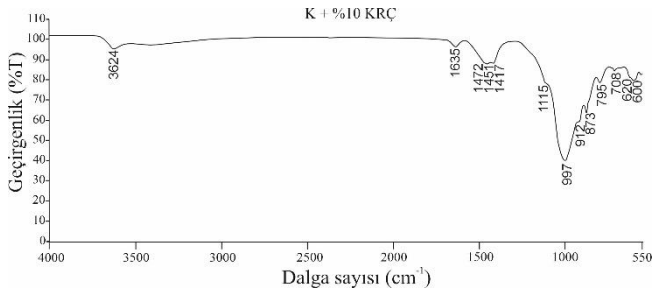
Şekil 4. K + %5 KRÇ örneğine ait FT-IR spektrumu

Tüm pikler katkısız kilde ortaya çıkan pikler ile aynı değerde olup, sadece katkısız kilden farklı olarak kilin spektrumunda bulunmayan 1417 cm^{-1} dalga sayısında yeni bir pik oluşmuştur. Bu dalga sayısı kalsit ve dolomitin CO_3 gerilmesiyle ilişkilidir ve CaO'dan kaynaklanmaktadır. Bu pik kireçteki Ca-O bağlarının özelliğidir. Bu çalışmada 1417 cm^{-1} dalga sayısında oluşan bu yeni pikin literatürle uyumlu olduğu ve puzolanik reaksiyonlar sonucu oluşan C-S-H ve C-A-S-H bileşikleriyle ilişkili olduğu söylenebilir. Nitekim Etim vd. [27] kireç katkısıyla birlikte gözlenen 1420.1 cm^{-1} dalga sayısındaki pikin, kalsiyum silikat hidrat C-S-H ve kalsiyum alüminat silikat hidrat C-A-S-H

bileşikleri formunda kalsit oluşumu ile ilişkili olduğunu belirtmektedirler. Tabak vd. tarafından yapılan çalışmada [30] 1430-1382 cm^{-1} aralığında belirlenen piklerin kalsit ve dolomitin CO_3 gerilmesiyle ilişkili olduğunu belirtilmiştir. Eisazadeh vd. [32] 1420 cm^{-1} dalga sayısındaki pikin kireçteki Ca-OH titreşimiyle ilişkili olduğunu, Bandipally [37] ise 1418 cm^{-1} dalga sayısındaki pikin kireçteki Ca-O bağlarının özelliği olduğunu, belirtmektedir. Madejova ve Komadel [33] tarafından yapılan çalışmada elde edilen 1425 cm^{-1} dalga sayısındaki pikin kalsit varlığına işaret ettiğini ifade edilmektedir.

2.4.5. K + %10 KRÇ örneğinin FT-IR analizi değerlendirilmesi

Kile %10 kireç katkısı eklenerek elde edilen örnekte 600 cm^{-1} , 620 cm^{-1} , 708 cm^{-1} , 795 cm^{-1} , 873 cm^{-1} , 912 cm^{-1} , 997 cm^{-1} , 1115 cm^{-1} , 1417 cm^{-1} , 1451 cm^{-1} , 1472 cm^{-1} , 1635 cm^{-1} , 3624 cm^{-1} pikleri oluşmuştur (Şekil 5).

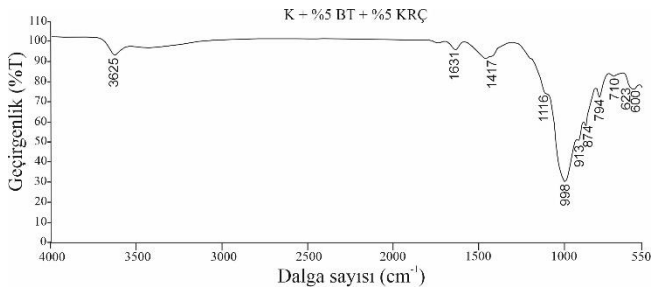


Şekil 5. K + %10 KRÇ örneğine ait FT-IR spektrumu

Bu karışımda katkısız kilden farklı olarak 1417 cm^{-1} , 1451 cm^{-1} , 1472 cm^{-1} dalga sayılarında Ca-O bağlarının titreşim pikleri olan yeni pikler gözlenmiştir. Örneğe eklenen kireç ile birlikte artan CaO miktarı ile birlikte Ca-O bağlarının oluşturduğu pik sayısı da artmıştır. Bu durum, CaO miktarının artmasıyla puzolanik reaksiyonların arttığı ve buna bağlı olarak C-S-H/C-A-S-H bileşiklerinin arttığı şeklinde açıklanabilir.

2.4.6. K + %5 BT + %5 KRÇ örneğinin FT-IR analizi değerlendirilmesi

%5 BT+%5 KRÇ katkılı örnekte gerçekleştirilen FT-IR analizinde 600 cm^{-1} , 623 cm^{-1} , 710 cm^{-1} , 794 cm^{-1} , 874 cm^{-1} , 913 cm^{-1} , 998 cm^{-1} , 1116 cm^{-1} , 1417 cm^{-1} , 1631 cm^{-1} , 3625 cm^{-1} dalga sayılarında titreşim pikleri görülmüştür (Şekil 6).



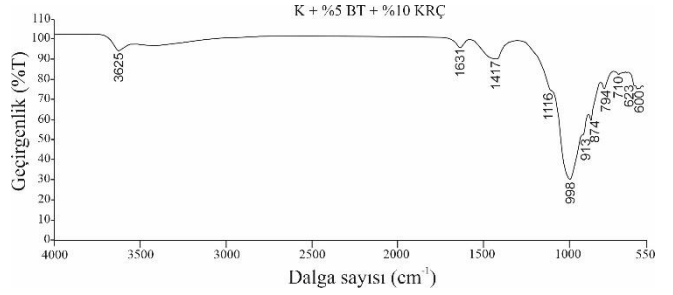
Şekil 6. K + %5 BT + %5 KRÇ örneğine ait FT-IR spektrumu

%5 KRÇ ve %5 BT'nin kullanıldığı katkılı örnekte yapılan FT-IR spektrumundan ortaya çıkan pikler K+%5 BT ve K+%5 KRÇ katkılı örneklerden elde edilen pikler ile çok benzerdir. Bu benzerliğin nedenini, reaktif silika ve alümina

içeriğinin az olmasından dolayı puzolanik reaksiyonların azalması ya da durması veya hem kireçten hem de bazik tüften gelen CaO'nun fazla serbest kireç olarak kalmış olması şeklinde açıklamak mümkündür.

2.4.7. K + %5 BT + %10 KRÇ örneğinin FT-IR analizi değerlendirilmesi

%5 BT + %10 KRÇ katkılı örneğin FT-IR spektrumu incelendiğinde 600 cm^{-1} , 623 cm^{-1} , 710 cm^{-1} , 794 cm^{-1} , 874 cm^{-1} , 913 cm^{-1} , 998 cm^{-1} , 1116 cm^{-1} , 1417 cm^{-1} , 1631 cm^{-1} , 3625 cm^{-1} dalga sayılarında titreşim pikleri görülmektedir (Şekil 7).

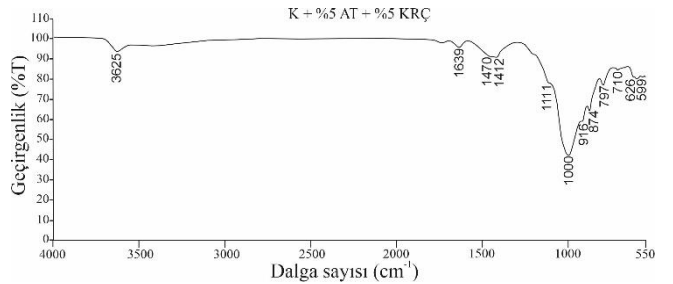


Şekil 7. K + %5 BT + %10 KRÇ örneğine ait FT-IR spektrumu

Bu pikler %5 KRÇ, %5 BT ve %5 KRÇ+%5 BT katkılı örneklerden elde edilen piklerle aynıdır. Kireç katkısının artması zeminde yeni puzolanik reaksiyonlar meydana getirmemiş ve böylece zemin yapı bileşenlerinde herhangi bir değişim oluşturmamıştır. Reaktif silika ve alümina içeriğinin az olması, örneğe eklenen kireç nedeniyle CaO'nun fazla serbest kireç olarak kalmasına neden olmuştur ve bundan dolayı FT-IR spektrumunda herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir.

2.4.8. K + %5 AT + %5 KRÇ örneğinin FT-IR analizi değerlendirilmesi

Kile %5 AT + %5 KRÇ katkısı eklendiğinde 599 cm^{-1} , 626 cm^{-1} , 710 cm^{-1} , 797 cm^{-1} , 874 cm^{-1} , 916 cm^{-1} , 1000 cm^{-1} , 1111 cm^{-1} , 1412 cm^{-1} , 1470 cm^{-1} , 1639 cm^{-1} , 3624 cm^{-1} dalga sayılarında pikler oluşmuştur (Şekil 8).

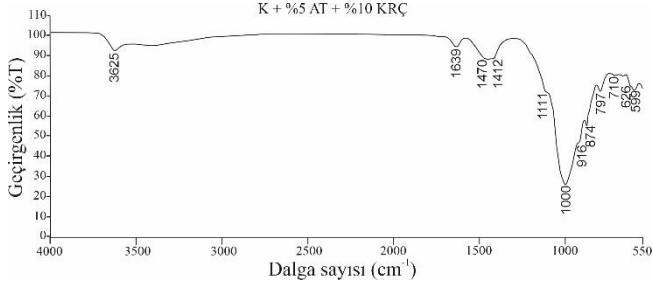


Şekil 8. K + %5 AT + %5 KRÇ örneğine ait FT-IR spektrumu

Bu pik değerleri katkısız kilin FT-IR spektrumuna benzerlik sunmaktadır. Ancak, 1412 ve 1470 cm^{-1} dalga sayılarında kalsit ve dolomitin CO_3 titreşimleri oluşmuştur. Bu durum asidik tüftün bileşimindeki $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarının %90.27 gibi oldukça yüksek bir değerde olması ve örneğe eklenen kireç ile birlikte puzolanik reaksiyonların meydana gelerek C-S-H/C-S-A-H bağlarını oluşturduğu şeklinde açıklanabilir.

2.4.9. K + %5 AT + %10 KRÇ örneğinin FT-IR analizi değerlendirilmesi

Kile %5 AT + %10 KRÇ katkısı eklenerek hazırlanan örnekte gerçekleştirilen FT-IR spektrumunda ise 599 cm^{-1} , 626 cm^{-1} , 710 cm^{-1} , 797 cm^{-1} , 874 cm^{-1} , 916 cm^{-1} , 1000 cm^{-1} , 1111 cm^{-1} , 1412 cm^{-1} , 1470 cm^{-1} , 1639 cm^{-1} , 3625 cm^{-1} pikleri meydana gelmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. K + %5 AT + %10 KRÇ örneğine ait FT-IR spektrumu

Bu pikler %5 AT+%5 KRÇ katkılı örnekte yapılan FT-IR analiz sonuçlarıyla aynıdır ve kireç katkı oranının %5'den %10'a çıkarılmış olması yeni değişiklikler oluşturmamış ve FT-IR spektrumunda kayda değer bir değişiklik gözlenmemiştir.

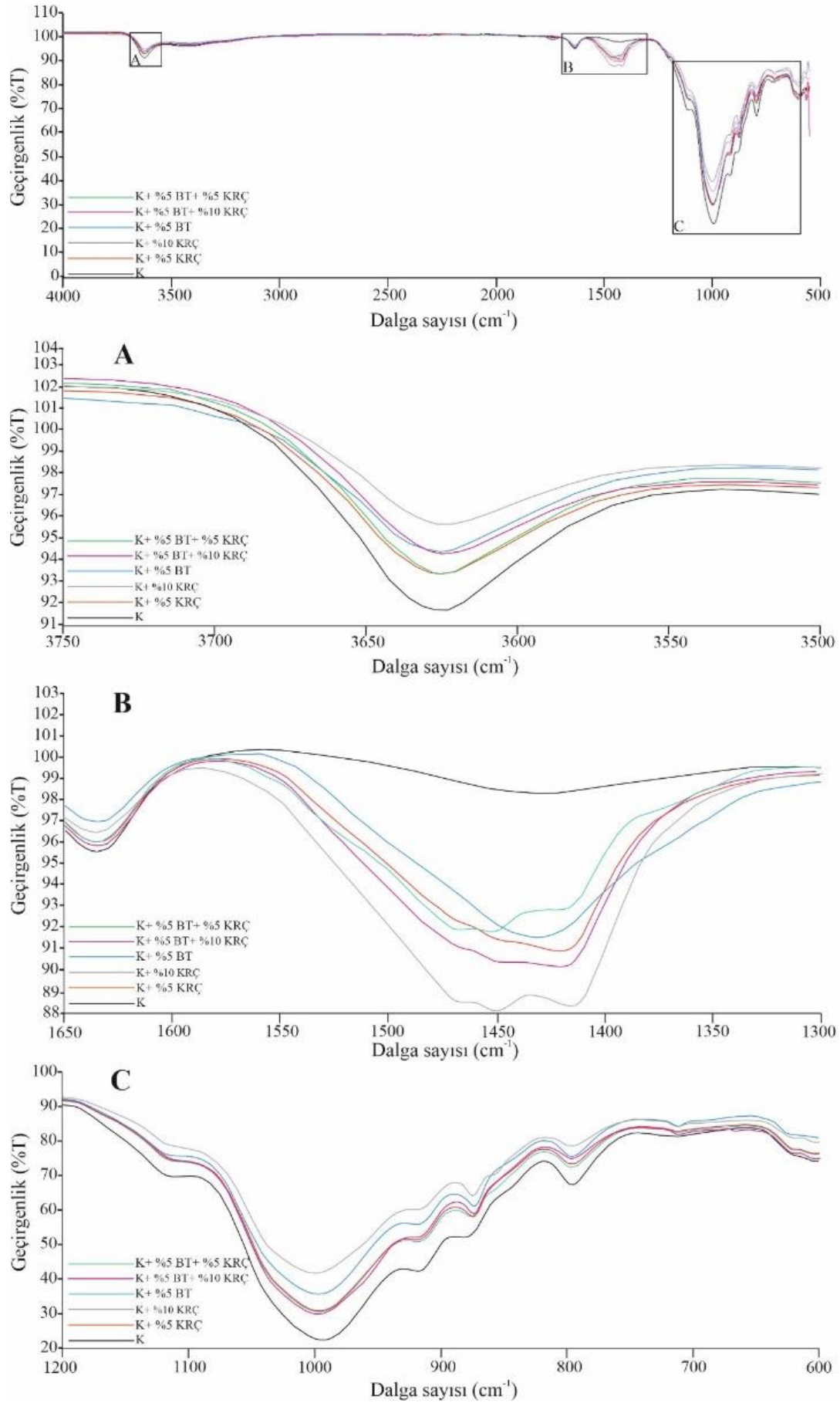
2.4.10. Katkılı örneklerde %T değerlerinin değişimi

FT-IR spektrumu yönteminde geçirgenlik olarak ifade edilen %T değeri, madde üzerinden geçen ışımının şiddetinin (I), madde üzerine gelen ışımının şiddetine (I_0) oranı olarak ifade edilmektedir. Bu çalışma sonucunda elde edilen 3624 cm^{-1} , 3625 cm^{-1} , 1631 cm^{-1} , 1635 cm^{-1} , 1639 cm^{-1} 'deki pikler dikkate alındığında, örneklere katkı eklenmesinin önemli bir pik kaymasına neden olmamasına karşın pikler bir miktar genişlediği, şiddetlerinin azaldığı ve %T değerlerinin arttığı görülmektedir. Tüm katkılı örneklerde %T değerleri birbirlerine çok yakın olmakla birlikte %10 KRÇ katkılı örnekte bu değer daha yüksektir (Şekil 10, 11). Diğer bir ifadeyle kireç ve tuf içeriğinin artmasıyla bu piklerdeki karakteristik absorpsiyonun azaldığı söylenebilir. Bu nedenle, kireç ve tuf ilavesinin neden olduğu IR spektrumundaki nispi değişikliklerin, puzolanik reaksiyonlarla oluşturulan çimentolu ürünlerin hidratasyonu için moleküler ve adsorbe edilmiş su tüketimi ile meydana geldiği varsayılabilir.

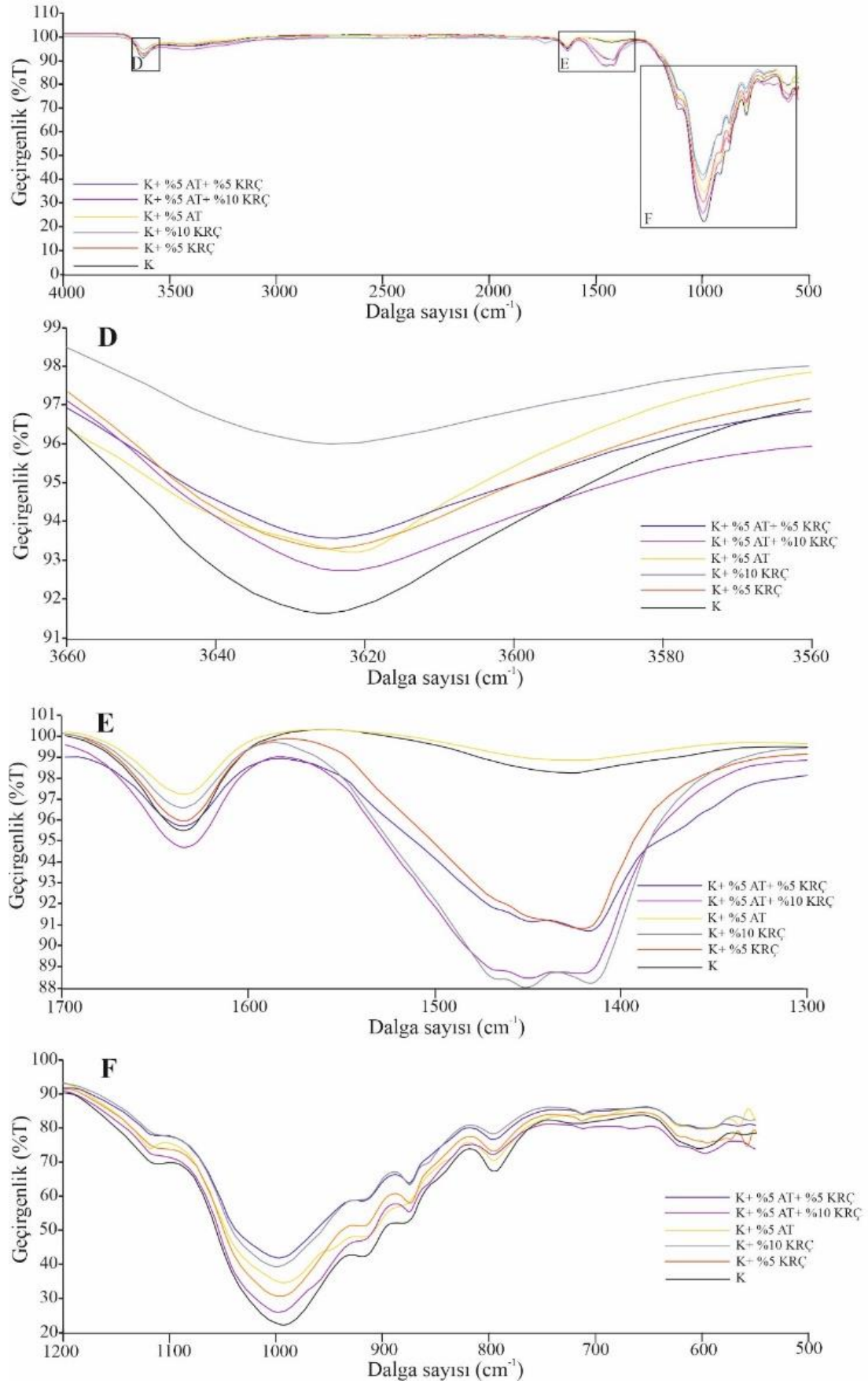
Katkısız kile kireç ve tuf katkıları eklendikçe 1412 cm^{-1} , 1417 cm^{-1} , 1431 cm^{-1} , 1451 cm^{-1} , 1470 cm^{-1} ve 1472 cm^{-1} birbirine çok yakın dalga sayılarında ve katkısız kilin FT-IR spektrumunda bulunmayan yeni pikler belirlenmiştir. Pik şiddetleri ise katkısız kile göre artmıştır. Kireç ve tuf katkılarıyla birlikte geçirgenlik değeri azalmış ve %T değerlerindeki en büyük azalma ise %10 KRÇ katkılı örnekte meydana gelmiştir (Şekil 10, 11).

Katkısız kilin mineral yapısındaki Si-O bağına karşılık gelen $599-1116\text{ cm}^{-1}$ arasındaki pikler, katkıların eklenmesiyle birlikte kademeli olarak azalmıştır. Kireç ve tuf katkılarının eklenmesiyle pikler genişlemiş, şiddetleri azalmış, ancak önemli bir tepe kayması gözlenmemiştir. %T değerlerinde en fazla azalma %10 KRÇ katkılı örnekte olmasına rağmen tüm örneklerdeki değişim birbirine çok yakındır (Şekil 10, 11). Bu durum kil minarelleri ile katkı

maddeleri arasında puzolanik reaksiyonun bir sonucu olarak kil mineralinde Si-O'nun azaldığı ile açıklanabilir. Diğer bir ifadeyle puzolanik reaksiyonun ilerleyişinde alüminosilikatanın lamine yapısı değişmiştir [28]. Kireç ve tuf katkılarının kullanılmasıyla, kil minerallerinin azaldığı, C-S-H bileşiklerinin oluştuğu ifade edilebilir.



Şekil 10. Kireç ve bazik tüf katkılı örneklerin FT-IR spektrumlarının karşılaştırması



Şekil 11. Kireç ve asidik tüf katkılı örneklerin FT-IR spektrumlarının karşılaştırması

Sonuçlar

Katkısız ve katkılı kil örneklerinde meydana gelen mikroyapısal değişimleri belirlemek amacıyla yapılan FT-IR analiz sonuçlarını şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Katkısız kilde Si-O, Al-O, O-H bağlarının özelliği olan pikler gözlenmiştir.
- Katkıların eklenmesiyle birlikte özellikle kireç katkısıyla yeni pikler oluşmuştur. Bu pikler kalsit ve dolomitin CO₃ gerilmesiyle ilişkilidir ve kireçten kaynaklanmaktadır.
- BT, KRÇ, BT + KRÇ katkılarının kullanıldığı örneklerin FT-IR spektrumları birbirine çok benzerdir. Tek başına bazik tuf, bileşimindeki CaO sebebiyle çok az bir puzolanik reaksiyon oluşturmuştur. Ancak reaktif silika ve alümina içeriğinin az olmasından dolayı kireç ile birlikte kullanıldığında yeni puzolanik reaksiyonlar oluşturmamıştır.
- Asidik tufün tek başına kullanıldığı örnekte katkısız kilin FT-IR spektrumuna benzer pikler belirlenmiştir, bunun nedeni asidik tufün bileşiminde puzolanik reaksiyon başlatacak oranda yeterli CaO bulunmamasıdır.
- Asidik tufün kireçle kullanıldığı örneklerde iki yeni pik gözlenmiştir. Bu pikler eklenen kireç ile birlikte puzolanik reaksiyonların meydana gelmesi ve C-S-H/C-S-A-H bağlarının oluşması ile ilişkilidir.
- Reaktif silika ve alümina içeriğinin az olması nedeniyle bazik tufün kireçle kullanıldığı örneklerde kireç oranının artması FT-IR spektrometresinde bir değişim meydana getirmemiştir.
- %T değerleri, kile katkı eklenmesiyle birlikte çok belirgin miktarlarda değişim göstermemiştir. 3624 cm⁻¹, 1631-1639 cm⁻¹, 599-1116 cm⁻¹'deki %T değerlerinin artışı, puzolanik reaksiyon oranlarının artması şeklinde yorumlanabilir.
- %10 kirecin eklenmesiyle kil mineralleri ile katkı maddeleri arasında puzolanik reaksiyonun bir sonucu olarak Si-O azalmıştır.
- Kireç ve tuf katkılarının kullanılmasıyla, kil minerallerinin azaldığı, C-S-H bileşiği formunda kalsit oluşumunun gerçekleştiği söylenebilir.

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında katkı malzemesi olarak kireç ile birlikte asidik ve bazik tüflerin kullanılması ile yapılan stabilizasyon sonrasında FT-IR spektrumunda puzolanik reaksiyonlardan dolayı çok belirgin olmayan bazı değişiklikler meydana gelmiştir. Meydana gelen bu değişimlerin literatürde bu konuda yapılan önceki çalışmalara ait sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bu konuda farklı katkı türü ve oranı ile yapılacak çalışmalar, FT-IR spektrumu yöntemini kullanılmasının yaygınlaşmasında rol oynayacaktır.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

“Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır”

Yazar Katkıları

Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU, Çalışma konsepti ve tasarım, Veri toplama, Taslağın oluşturulması, Verilerin analizi ve yorumlanması

Zülfü GÜROCAK, Çalışma konsepti ve tasarım, Veri toplama, Taslağın oluşturulması, Verilerin analizi ve yorumlanması

Teşekkür

Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] N.O. Attoh-Okine, “Lime treatment of laterite soils and gravels-revisited”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 9 no.5, pp. 283-287, 1995, DOI: 10.1016/0950-0618(95)00030-J.
- [2] M.R. Asgari, A.B. Dezfali, M. Bayat, “Experimental study on stabilization of a low plasticity clayey soil with Cement/lime”, *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 8, no. 3, pp. 1439-1452, 2015, DOI: 10.1007/s12517-013-1173-1.
- [3] A.R. Goodarzi, S.H. Goodarzi, H.R. “Akbari, Assessing geo-mechanical and micro-structural performance of modified expansive clayey soil by silica fume as industrial waste”, *Iranian Journal of Science And Technology-Transactions of Civil Engineering*, vol. 39, no. C2, pp. 333-350, 2015, DOI: 10.22099/IJSTC.2015.3138.
- [4] P. Voottipruex, P. Jamsawang, “Characteristics of expansive soils improved with cement and fly ash in Northern Thailand”, *Geomechanics and Engineering An Int'l Journal*, vol. 6, no. 5, pp. 437-453, 2014, DOI: 10.12989/gae.2014.6.5.437.
- [5] B. Lin, A.B. Cerato, A.S. Madden, M.E. Elwood Madden, “Effect of fly ash on the behavior of expansive soils: microscopic analysis”, *Environmental Engineering Geosciences*, vol. 19 no. 1, 85-94, 2013, DOI: 1ATTOH0.2113/gseegeosci.19.1.85.
- [6] A. Mahamedi, M. Khemissa, “Cement stabilization of compacted expansive clay”, *Online J. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 33-38, 2013.
- [7] D. Wang, N.E. Abriak, R. Zentar, W. Chen, “Effect of lime treatment on geotechnical properties of Dunkirk Sediments in France”, *Road Materials and Pavement Design*, vol. 14, no. 3, pp. 485-503, 2013, DOI: 10.1080/14680629.2012.755935.

- [8] O. Azadegan, S.H. Jafari, J. Li, "Compaction characteristics and mechanical properties of lime/cement treated granular soils", *Electron. J. Geotech. Eng.*, vol. 17, pp. 2275-2284, 2012.
- [9] O. Cuisinier, J.C. Auriol, T. Le Borgne, D. Deneele, "Microstructure and hydraulic conductivity of a compacted lime-treated soil", *Eng. Geol.*, vol. 123, no. 3, pp. 187-193, 2011, DOI: 10.1016/j.enggeo.2011.07.010.
- [10] K. Harichane, M. Ghrici, W. Khebizi, H. Missoum, "Effet de la combinaison de la chaux et de la pouzzolane naturelle sur la durabilité des sols argileux", *Proceedings of 29th meeting of AUGC-Tlemcen*, Algeria, 2011.
- [11] K.M.A. Hossain, L. Mol, "Some engineering properties of stabilized clayey soils incorporating natural pozzolans and industrial wastes", *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 8, pp. 3495-3501, 2011, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.03.042.
- [12] T. Ramadas, N.D. Kumar, G. Yesuratnam, "Geotechnical characteristics of three expansive soils treated with lime and fly ash", *Int. J. Earth Sci. Eng.*, vol. 4, pp. 46-49, 2011.
- [13] H.S. Aksoy, M. Yılmaz, E.E. Akarsu, "Killi bir zeminin Tunçbilek uçucu külü kullanılarak stabilizasyonu", *Doğu Anadolu Bölgeleri Araştırmaları*, 2008.
- [14] A.A. Al-Rawas, A.W. Hugo, H. Al-Sami, "Effect of lime, cement and artificial pozzolan on the swelling potential of an expansive soil from Oman", *Building & Environment* 40. Elsevier, pp.267-281, 2005, DOI: 10.1016/j.buildenv.2004.08.028.
- [15] J. Mallela, H.V. Quintus, K.L. Smith, "Consideration of limestabilized layers in mechanistic-empirical pavement design", *The National Lime Association*, Arlington, Virginia, USA, 2004.
- [16] E. Kalkan, S. Akbulut, "The positive effects of silica fume on the permeability swelling pressure and compressive strength of natural clay liners", *Eng. Geol.*, vol. 73, no. (1-2), pp. 145-156, 2004, DOI: 10.1016/j.enggeo.2004.01.001.
- [17] A.J., Puppala, A.M. Ramakrishna, L.R. Hoyos, "Resilient moduli of treated clays from repeated load triaxial test", *Transportation Research Records: Journal of Transportation Research Board*, pp. 68-74:1821, 2003, DOI: 10.3141/1821-08.
- [18] D.I. Boardman, S. Glendinning, C.D.F. Rogers, "Development of stabilization and solidification in lime-clay mixes", *Geotechnique*, vol. 51 no. 6 pp.533-543, 2001, DOI: 10.1680/geot.2001.51.6.533.
- [19] D.N. Little T. Scullion, P.B.V.S. Kota, J. Bhuiyan "Guidelines for mixture design and thickness design for stabilized bases and subgrades", Austin, Texas: Texas A and M University, 1995.
- [20] M. Ç. Karakaya, "Kil minerallerinin özellikleri ve tanımlama yöntemleri", Bizim Büro Basımevi, Ankara, 2006, pp. 541-595.
- [21] T. Gündüz, "Enstrümental analiz", Bilge Yayıncılık, Ankara, 1990, 122,123.
- [22] Anonim, <https://www.petkim.com.tr/Userfiles/File/uretim/kalitekontrol-teknikservis/Plastik.pdf>, Erişim Tarihi: 15.06.2022.
- [23] F. Puertas, A. Fernandez-Jimenez, M.T. Blanco-Varela, "Pore solution in alkaliactivated slag cement pastes. relation to the composition and structure of calcium silicate hydrate", *Cement And Concrete Research*, vol. 34, no. 1, 139-148, 2004.
- [24] C.E.M. Gomes, O.P. Ferreira, "Analyses of microstructural properties of Va/VeoVa copolymer modified cement pastes", *Polimeros: Ciencia E Tecnologia*, vol. 15, no. 3, 2005, pp. 193-198.
- [25] M.J. Varast, M.A. De Buergo and R., Fort, "Natural cement as the precursor of Portland cement: methodology for its identification", *Cement And Concrete Research*, vol. 35 pp. 2055-2065, 2005, DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.10.045, 2005.
- [26] F. Puertas, A. Fernandez-Jimenez, "Mineralogical and microstructural characterisation of alkali-activated fly ash/slag pastes", *Cement & Concrete Composites*, vol. 25, pp. 287-292, 2003, DOI: 10.1016/S0958-9465(02)00059-8, 2003.
- [27] R.K. Etim, I.C. Attah, D.U. Ekpo, I.N. Usanga, "Evaluation on stabilization role of lime and cement in expansive black clay-oyster shell ash composite", *Transportation Infrastructure Geotechnology*, 2021, DOI: 10.1007/s40515-021-00196-1.
- [28] Y. Cheng, S. Wang, J. Li, X. Huang, C. Li, J. Wu, "Engineering and mineralogical properties of stabilized expansive soil compositing lime and natural pozzolans", *Construction and Building Materials*, vol. 187, pp. 1031-1038, 2018, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.061.
- [29] A. Hajimohammadi, J.L. Provis, J.S.J. Van Deventer, "The effect of silica availability on the mechanism of geopolymerisation", *Cement and Concrete Research* vol. 41, no. 3, 210-216, 2011, DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.02.001.
- [30] A. Tabak, B. Afsin, B. Caglar, E. Koksall, "Characterization and pillaring of a Turkish

- bentonite (Resadiye)", *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 313, no. 1, pp. 5-11, 2007, DOI: 10.1016/j.jcis.2007.02.086.
- [31] K. Bukka, J.D. Miller, J. Shabtai, "FT-IR Study of deuterated montmorillonites: structural features relevant to pillared clay stability", *Clays and Clay Minerals*, vol. 40, pp. 92-102 1992, DOI: 10.1346/CCMN.1992.0400110 1992.
- [32] A. Eisazadeh, K.A. Kassim, H. Nur, "Solid-state NMR and FTIR studies of lime stabilized montmorillonitic and lateritic clays", *Applied Clay Science*, vol. 67-68, pp. 5-10, 2012, DOI: 10.1016/j.clay.2012.05.006.
- [33] J. Madejova, P. Komadel, "Baseline studies of the clay minerals society source clays: infrared methods". *Clays and Clay Minerals*, vol. 49, no. 5, pp.410-432, 2001.
- [34] H.W.V.D. Marel, H. Beutelspacher, "Atlas of Infrared Spectroscopy of Clay Minerals and their Admixtures", *Elsevier Scientific Publishing*, Amsterdam,1976.
- [35] S. Gunasekaran, G. Anbalagan, "Spectroscopic characterization of natural calcite minerals", *Spectrochimica Acta (Part A)* vol. 68, pp. 656-664, 2007, DOI: 10.1016/j.saa.2006.12.043.
- [36] K. Nacamoto, "Infrared Spectra of Inorganic and Coordinated Compounds" Wiley, New York, 1970.
- [37] S. Bandipally, "Characterization of lime-treated soils for assessing short-term strength behavior", Master Thesis, Geotechnical Engineering Division, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Madras, 2017.
- [38] Z. Kechouane, A. Nechnech, "Characterization of an expansive clay treated with lime: Effect of compaction on the swelling pressure", *4th International Congress in Advances in Applied Physics and Materials Science (APMAS 2014)*, pp. 020057-1–020057-8, 2015, DOI: 10.1063/1.4914248.
- [39] K.A.H. Saeed, K.A. Kassim, N.Z.M. Yunus, H. Nur, "Physico-chemical characterization of lime stabilized tropical kaolin clay", *Jurnal Teknologi*, vol. 72, no. 3, 83-90, 2015, DOI: 10.11113/jt.v72.4021.
- [40] A.S. Özcan, "Doğal bentonitin karakterizasyonu ve kurşun(II) iyonlarını adsorpsiyon yeteneği", *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bil. Enst. Dergisi* vol. 12, no. 2, 85-97, 2010.
- [41] C. Bilgiç, Ş. Bilgiç, "Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy to analysis of clays", *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(*IMSMATEC Özel Sayı*), pp. 37-46, 2018, DOI: 10.17100/nevbittek.632788.
- [42] A. Akbulut, "Bentonit", MTA Eğitim Serisi-32, Ankara, 1996.
- [43] Y. Önem, "Sanayi Madenleri", Kozan Ofset, Ankara, 2000.
- [44] S. Genç, "Şişen Zeminler ve Bentonit-kaolin karışımlarının şişme özellikleri", Yüksek Lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- [45] Y. Aslan Topçuoğlu, "Farklı katkı maddelerinin zeminlerin mühendislik özellikleri üzerindeki etkisi", Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2020.
- [46] Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, American Society for Testing and Materials ASTM D698- 12e2, 2012.



Agrega Tane Boyut Dağılımı ve PP Lif Kullanımının Betonda Plastik Rötne Çatlağı Oluşumu Üzerine Etkileri

Effects of Aggregate Particle Size Distribution and Use of PP Fiber on the Plastic Shrinkage Cracking in Concrete

Hasan Nuri TÜRKMEÑOĞLU^{1*}, Hakan Nuri ATAHAN²

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye. turkmenoglu@itu.edu.tr

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4765-8590>

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye. atahanh@itu.edu.tr

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7917-3021>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 1 Temmuz 2022
Revizyon 20 Temmuz 2022
Kabul 21 Temmuz 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

beton, plastik rötne, çatlak, çatlak azalma oranı, polipropilen lif

ÖZ

Plastik rötne betonun henüz sertleşmediği zaman diliminde meydana gelen yüzeysel bir çatlak türüdür. Temel nedeni beton yüzeyindeki buharlaşma hızının betonun terleme hızından yüksek olmasına bağlı olarak yüzeyin kurumasıdır. Böylece beton yüzeyi büzölmeye başlarken, alt kısımlarda kalan beton plastik kıvamda olduğu için yüzey ile benzer büzölmeyi gösteremez ve yüzeyde harita şeklinde çatlaklar oluşur. Yapılan çalışmada, toplam agrega hacminin sabit olduğu 3 farklı agrega tane boyut dağılımına sahip beton ve 2 farklı polipropilen lif değişik oranlarda kullanılarak plastik rötne üzerine etkileri incelenmiştir. Deneylerde yöntem olarak ASTM C1579 standardı esas alınmış olup çatlak parametreleri deney sırasında çekilen fotoğraflar işlenerek elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar daha iri agrega tane boyut dağılımının çatlak oluşumunu önlemede daha başarılı olduğunu ortaya koymuştur. Fakat çatlağı önlemek için kullanılan liflerin etkinliği agrega tane boyut dağılımı irileştikçe azalmıştır. Diğer yandan kullanılan lifler plastik rötne çatlağını belirgin bir şekilde engellemişlerdir ancak aynı boydaki liflerden narinliği daha yüksek olan monofilament lifin kullanıldığı betonlarda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 July 2022
Received in revised form 20 July 2022
Accepted 21 July
Available online 30 September 2022

Keywords:

concrete, plastic shrinkage, crack, crack reduction rate, polypropylene fiber

ABSTRACT

Plastic shrinkage is a type of crack that occurs on the concrete surface before hardening. The main reason for plastic shrinkage is the drying of the surface due to the evaporation rate on the concrete surface being higher than the bleeding rate of the concrete. Thus, while the concrete surface begins to shrink, the concrete remaining in the inner part cannot show the same shrinkage as the surface because it has a plastic consistency, and eventually, map-shaped plastic shrinkage cracks form on the surface. In the current study, the effects on plastic shrinkage were investigated by using 3 different aggregate particle size distributions and 2 different polypropylene fibers in different ratios, where the total aggregate volume is constant. The method specified in the ASTM C 1579 standard was taken into account and the crack parameters were obtained by processing the photographs taken during the experiment. The obtained results revealed that the coarser aggregate particle size distribution was more successful in preventing crack formation. However, the effectiveness of the fibers used to prevent cracking decreased as the aggregate particle size distribution became coarser. On the other hand, all the fibers used significantly prevented plastic shrinkage cracking, but better results were obtained from the concretes in which monofilament fiber with higher slenderness was used than the other fiber of the same length.

Doi: 10.24012/dumf.1138905

* Sorumlu Yazar

Giriş

Kompleks yapısı nedeniyle beton kullanımında pek çok problemle karşılaşmaktadır. Bu problemlerden bir tanesi olan plastik rötre çatlağı (PRÇ), beton henüz sertleşmeden önce yüzeyde meydana gelen çatlak türüdür. Beton kalıplara yerleştirildiğinde özgül ağırlığı yüksek olan katı beton bileşenleri aşağıya doğru çökerken su yukarı doğru hareket eder ve bu olaya betonun terlemesi adı verilir. Eğer betonun bulunduğu ortamdaki buharlaşma hızı betonun terleme hızından daha yüksek ise beton yüzeyi kuruyacak ve su kaybından dolayı beton yüzeyi büzülme çalışacaktır. Diğer yandan hala plastik kıvamda olan betonun iç kısımlarında yüzeyde meydana gelen büzülme oluşamayacağı için beton yüzeyinde harita şeklinde plastik rötre çatlakları oluşacaktır. Bu çatlakların gözle görülebilir boyuta gelmesi genellikle priz başlangıcından itibaren olmakta ve priz bitene kadar genişlemeye devam etmektedir [1].

PRÇ ile sıcak ve rüzgârlı hava gibi buharlaşma hızının yüksek olduğu çevresel etkilere maruz kalan geniş yüzeyli beton elemanlarda sıklıkla karşılaşmaktadır [2]. PRÇ her ne kadar yüzeyel bir çatlak olsa da oluşuktan sonra zararlı sıvı ve gazların betona girişini hızlandırmakta ve böylece betonun durabilitesini ve servis ömrünü düşürmektedir [3], [4]. Bununla birlikte bu çatlaklar oluşuktan sonraki tamirat işlemleri çok fazla zamana ve paraya mal olmaktadır [5]. Farklı türde betonlarda PRÇ riskini azaltmak için, karışım tasarımı, kür yöntemleri, kimyasal veya mineral katkı kullanımı, lif kullanımı ve yüzey düzeltme yöntemleri gibi pek çok parametreyi inceleyen çalışmalar yapılmıştır.

Lif kullanımı PRÇ riskini önlemede kullanılan en etkili yöntemlerden biridir [6]. Bilindiği üzere plastik haldeki betonun çekme dayanımı çok düşüktür ve artan su/bağlayıcı oranıyla birlikte daha da düşmektedir [7]. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda yüksek dayanım sağlaması beklenmeyen kısa boylu liflerin PRÇ riskini azaltmak amacıyla harç ve betonlarda kullanımı artmıştır ve genellikle çelik, cam, bazalt, sentetik veya doğal lif (keten lif, selülozik lif vb.) gibi lif türleri kullanılmaktadır [8], [9]. Yapılan çalışmalarda daha çok kullanım oranı, geometri ve lif türü gibi parametrelerin farklı kombinasyonlarının PRÇ riskine karşı etkinliği araştırılmıştır. Örneğin aynı geometrik özelliklere sahip liflerin kullanılması durumunda lifler incelikle ve boyları uzadıkça PRÇ riskini önleme performansları artmıştır [10], [11]. Fakat lif boyunun etkinliği, belirli bir uzunluk değerinden sonra azalma göstermektedir [9].

Kimyasal katkıların PRÇ üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmalara göre priz hızlandırıcı ve kıvam düzenleyici katkıları PRÇ miktarını artırırken priz geciktirici, rötre azaltıcı ve kür katkıları azaltmaktadır [12]–[14]. Rötre azaltıcı katkıların etki mekanizması, karışım suyunun yüzey gerilimini düşürerek buharlaşmayı, betonun oturma miktarını ve yüzeyde gerilme oluşumunu azaltma şeklindedir [15]–[17]. Örneğin, suya %1 gibi düşük oranlarda eklendiğinde bile suyun yüzey gerilimini etkin bir şekilde azaltmaktadır. Bu durum kapiler gerilmelerin oluşumunu azaltır ve böylece katı tanecikler arasındaki mesafe korunmuş olur [18].

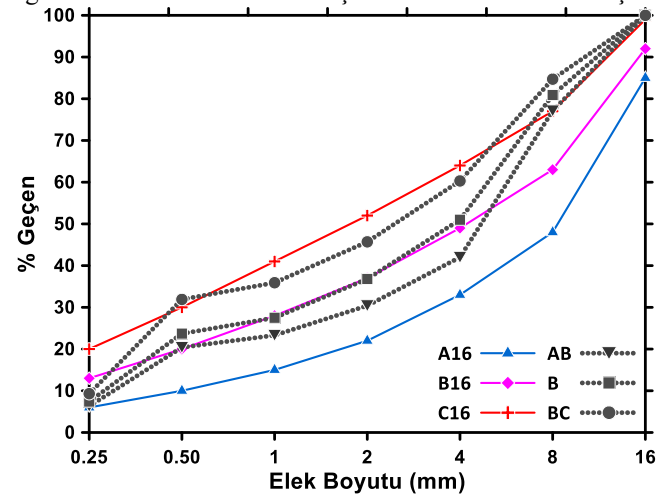
Mineral katkıların etkisine bakılacak olursa mikro silika ve nano silika kullanımı su ihtiyacını artırdığı ve negatif kapiler

basıncın daha erken oluşmasına neden olduğu için PRÇ riskini artırırken [19]–[21], su ihtiyacını azaltan ve priz süresini uzatan uçucu külün kullanımı PRÇ riskini azaltmıştır [22]. Benzer şekilde karışıma mineral katkı olarak kil eklenmesi de su ihtiyacını artırdığı için PRÇ oluşumunu ciddi bir oranda artırmıştır [23]. Diğer yandan, su/bağlayıcı oranının düşmesi ile priz süresi kısalmakta ve terleme miktarı azalmaktadır bu durum da PRÇ riskini artırmaktadır [9], [24]. Bunlarla birlikte yüzey düzeltme hızı, düzeltme yönü ve yüzey bitirme işlemlerinin de PRÇ oluşumu üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir. Örneğin yüzey düzeltme hızının artması veya düzeltme işlemini uzun kenar doğrultusunda yapma çatlak miktarını artırırken ikincil veya kısa kenar doğrultusunda yüzey düzeltme işlemleri çatlak miktarını azaltmıştır [25]. Son yüzey düzeltme işleminin PRÇ miktarını azaltması, oluşmaya başlayan çatlakların dolarak yarı akışkan betonun yüzeyi kaplaması ile ilişkilendirilmiştir [26]. Ayrıca beton sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farkın artması da PRÇ riskini artırmaktadır [14].

Yukarıdaki paragraflarda görüldüğü üzere PRÇ'yi etkileyen pek çok parametre vardır. Yapılan çalışmalar arasında karışım tasarımında agrega tane boyut dağılımının etkisinin incelendiği bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu doğrultuda, yapılan çalışmanın hedefi agrega tane boyutu dağılımının ve aynı türden farklı geometriye sahip liflerin PRÇ oluşumuna karşı etkinliklerinin araştırılmasıdır. Aynı zamanda farklı agrega tane boyutu dağılımlarının, polipropilen (PP) liflerin PRÇ'yi engelleme performansı üzerine etkisi de irdelenecektir.

Malzeme ve Karışım Özellikleri

Yapılan çalışma kapsamında, en büyük tane boyutu ASTM C 1579 [27] standardında belirtilen 19 mm şartını sağlayacak şekilde, 4-16 mm kırma taş (kum taşı), 0-4 mm kırma kum (kum taşı) ve 0-4 mm doğal kum olmak üzere 3 tip agrega kullanılmıştır. Agrega tane boyutu dağılımları belirlenirken toplam agrega hacmi içerisindeki iri agrega oranı %40, %50 ve %60 olacak şekilde 3 farklı agrega karışımı belirlenmiş ve bu agrega karışımlarının kullanıldığı betonlar sırasıyla BC, B ve AB olarak adlandırılmıştır. Karışımlara ait agrega tane boyutu dağılım grafikleri, TS 802'de [28] tanımlanan standart eğriler ile birlikte Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Karışımlara ait agrega tane boyutu dağılım eğrileri.

Şekil 1’de agrega tane boyutu dağılım eğrileri verilen BC, B ve AB karışımlarına ait incelik modülü değerleri sırasıyla 3.32, 3.73 ve 4.01’dir. Çalışmada bağlayıcı olarak CEM I 42.5R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Tüm karışımlarda çimento miktarı 350 kg/m^3 ve su miktarı 192.5 kg/m^3 olmak üzere sabit tutulmuştur (su/çimento=0.55). Beton karışımları hazırlanırken Sika marka Sikament RMC210 kodlu süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. BC, B ve AB kodlu referans beton karışımlarında eşit kıvam elde edilecek şekilde, kimyasal katkı kullanım miktarları çimento ağırlığına oranla sırasıyla %1.1, %0.9 ve %0.8 olarak belirlenmiş ve her bir gruptaki tüm betonlarda bu oranlar sabit tutulmuştur.

Referans betonlardan en yüksek çatlak genişliğini elde edebilmek için gerekli karışım parametrelerine karar verebilmek amacıyla farklı s/ç oranı, çimento dozajı ve kıvam değerlerine sahip 18 deneme betonu üretilip plastik rötre deneyine tabi tutulmuştur. Karışımlarda kullanılan malzemelere ait özgül ağırlık değerleri Tablo 1’de ve deneme üretimleri sonrası belirlenen beton karışım tasarım bilgileri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Özgül ağırlık değerleri (g/cm^3).

Malzeme	Özgül Ağırlık
Çimento	3.17
Doğal Kum	2.64
Kırma Kum	2.76
Kırma Taş	2.76
Akışkanlaştırıcı	1.19
PP Lif	0.91

Tablo 2. Beton karışım bilgileri (kg/m^3).

Karışım Kodu	Çim.	Su	Doğal Kum	Kırma Kum	Kırma Taş	Lif
Ref			267	466	1117	0
AB 600	350	192.5	267	465	1116	0.6
900			267	465	1116	0.9
1100			267	465	1115	1.1
B Ref			303	614	931	0
600	350	192.5	302	614	930	0.6
900			302	613	929	0.9
1100			302	613	929	1.1
BC Ref			445	651	744	0
600	350	192.5	444	650	743	0.6
900			444	650	743	0.9
1100			444	650	743	1.1

Betonların üretiminde fibrile ve monofilament olmak üzere 2 farklı geometriye sahip PP lif kullanılmış olup liflere ait fotoğraf Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Monofilament (A) ve fibrile (B) life ait fotoğraf.

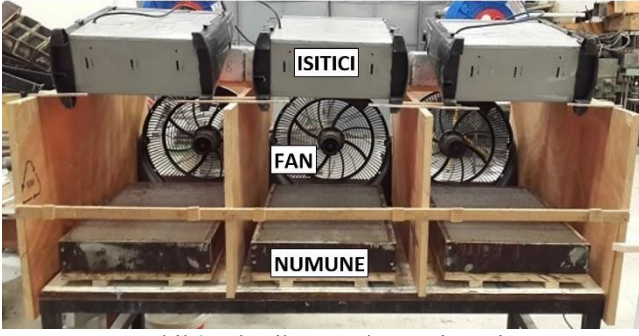
Çalışmada kullanılan liflerin uzunlukları eşit olup 12 mm ’dir. Fibrile lifin denyesi 1200 iken monofilament lifin denyesi 2.5 – 6 aralığındadır (ortalama çap $25 \mu\text{m}$). Her bir karışım grubunda kullanılacak lif dozajları 600, 900 ve 1100 g/m^3 olarak seçilmiştir.

Deneysel Çalışma ve Kullanılan Yöntemler

Tablo 2’de görüldüğü üzere, her bir agrega tane boyut dağılımı grubu içerisinde, 1 adet referans ve 3 farklı kullanım oranına sahip 2 tip PP lifin kullanıldığı 7 adet beton karışımı üretilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen toplam karışım sayısı 21 olup plastik rötre deneyi için her bir karışımından 2 adet numune alınmıştır. Beton üretimleri 40 lt kapasiteli düşey eksenli mikser kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Malzemeler mikserin kazanına yerleştirildikten sonra kısa bir süre kuru halde karıştırılmış, ardından içerisine kimyasal katkı eklenmiş olan karışım suyu ve son olarak lifler kontrollü bir şekilde eklenmiştir. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra TS EN 12350-2 [29] standardına göre kıvam ve TS EN 12350-6 [30] standardına uygun bir şekilde birim ağırlık deneyleri yapılmış, sonrasında bir miktar daha karıştırılan beton hazırlanan kalıplar içerisine 2 katman halinde yerleştirilmiştir. Her bir katman sabit süre ile sarsma işlemine tabi tutulmuş ve son yüzey düzeltmesi tüm betonlarda aynı yönde ve aynı şekilde yapılmıştır. Ek olarak, farklı agrega tane boyutu dağılımına sahip olan referans betonlardan ek üretimler yapılmıştır. Bu üretimlerden, basınç dayanımını belirlemek için 3’er adet $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ küp numune alınmış ve kalan kısım betonda priz süresinin belirlenmesi deneyi için kullanılmıştır.

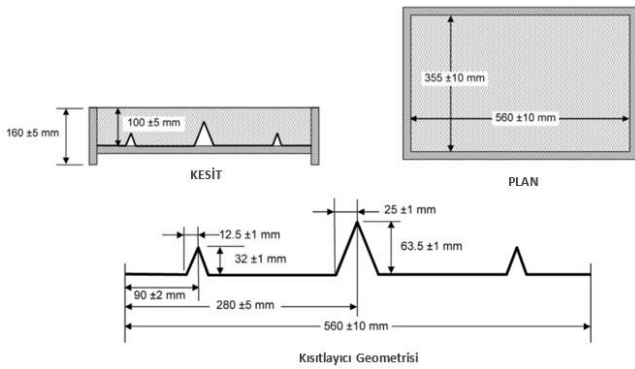
Priz süresi deneyleri TS 2987 [31] standardında belirtilen yonteme göre gerçekleştirilmiştir. Priz süresi deneyi kapsamında, ek olarak üretilen referans betonlardan basınç numuneleri alındıktan sonra kalan kısımlar 5 mm göz açıklıklı elekten elenmiş ve elek altına geçen beton 75 mm çapındaki deney kapları içerisine yerleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler plastik rötre deneylerinin yapıldığı test çemberi içerisinde bekletilmiş ve standarda uygun penetrasyon düzeneği kullanılarak priz süreleri belirlenmiştir. Kalıplardan söküldükten sonra 28. güne kadar $23 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklığa sahip kür havuzunda bekletilen sertleşmiş beton numuneleri üzerinde ise TS EN 12390-3 [32] standardına uygun bir şekilde basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Plastik rötre deneyinde, Şekil 3’te gösterilen deney düzeneği kullanılmıştır. Verilen şekilde görüldüğü üzere hazırlanan numuneler tünel şeklindeki kanalların içerisine yerleştirilmiştir. Kanalların uç kısmına rüzgâr akışını sağlamak için fanlar ve kanalların üst kısmına numune yüzeyini ısıtmak için infrared ısıtıcılar yerleştirilmiştir. Oluşturulan deney düzeneğindeki buharlaşma hızı, yüzey alanı 0.12 m^2 olan su dolu kap kullanılarak 1.1 kg/m^2 .sa olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, fanların numune yüzeyinde oluşturduğu rüzgâr hızı anemometre yardımıyla 17 km/sa olarak belirlenmiştir. Bu değerler, ASTM C1579 [27] standardında belirtilen koşulları sağlamaktadır. Bunlara ek olarak her bir deney süresince el tipi veri toplayıcı kullanılarak beton yüzeyindeki sıcaklık ve bağıl nem değerleri de kaydedilmiştir. Bu verilere göre yüzeyde tespit edilen ortalama sıcaklık değeri 43°C ve rölatif nem oranı %17’dir.



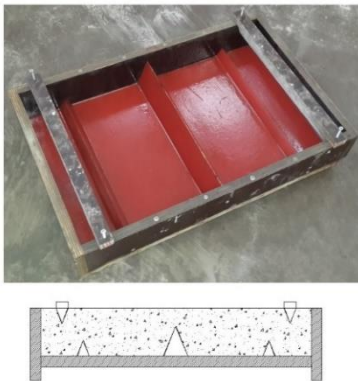
Şekil 3. Plastik rötre deney sistemi.

Plastik rötre deneyinde kullanılan kalıplar ASTM C1579 [27] standardında verilen ölçülere (Şekil 4) uygundur. Ayrıca, ilgili standartta referans betonun elde edilmesi gereken minimum 0.5 mm ortalama çatlak genişliği şartını daha kolay sağlayabilmek için kalıba iki engel daha ilave edilmiştir.



Şekil 4. ASTM C 1579 kalıp boyutları.

Bu engel kalıbın uç kısmı ile küçük engelin tam orta hizasına denk gelecek şekilde kalıbın üst yüzeyine beton yerleştirme işleminden önce vidalar yardımıyla sabitlenmiştir. Ayrıca kalıbın uzun kenarları üzerine, deney sonunda çekilen fotoğrafları işlerken koordinatları belirli referans noktaları oluşturması amacıyla 4'er adet raptiye yerleştirilmiştir. Kullanılan kalıba ait fotoğraf ve kesit görüntüsü Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Plastik rötre deneyi kapsamında kullanılan kalıp ve sematik boyuna kesit görüntüsü.

Kalıplara yerleştirilen betonlar, plastik rötre deney düzeneğindeki kanallara yerleştirildikten sonra fan ve ısıtıcılar çalıştırılarak plastik rötre deneyi başlatılmıştır. Deney başladıktan sonra 4 saat süreyle numuneler takip edilmiş ve belirli aralıklarla yüksek çözünürlüklü fotoğraflar çekilmiştir. Ek olarak, numuneler sisteme yerleştirildikten sonra çatlakların gözle görülebilir olduğu ana kadar geçen

süreler de kaydedilmiştir. Deney sonunda numunelerden çekilen fotoğraflar MATLAB kodu yardımıyla ortografik bir şekilde ölçeklendirilmiş ve bu görüntüler AutoCAD programına aktarılıp çatlak parametreleriyle ilgili ölçümler hassas bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler neticesinde, her bir karışıma ait çatlak boyu, maksimum çatlak genişliği, toplam çatlak alanı gibi değerler belirlenmiştir. Ortalama çatlak genişliği değerleri ise toplam çatlak alanının çatlak boyuna oranlanması ile elde edilmiştir. Karışım parametrelerinin PRÇ'yi önleme performansları belirlenirken ASTM C1579 [27] standardında verilen çatlak azaltma oranı (ÇAO) formülleri kullanılmış olup bu formüller formül (1) ve (2)'de verilmiştir.

$$\text{ÇAO}(\text{Ortalama Çatlak Genişliği}) = \left[1 - \frac{(\text{lif katkılı betonun ort. çatlak genişliği})}{(\text{referans betonun ort. çatlak genişliği})} \right] \times 100 \quad (1)$$

$$\text{ÇAO}(\text{Toplam Çatlak Alanı}) = \left[1 - \frac{(\text{lif katkılı betonun toplam çatlak alanı})}{(\text{referans betonun toplam çatlak alanı})} \right] \times 100 \quad (2)$$

Deneyel Sonuçlar ve Değerlendirme

Deneyel çalışmada elde edilen çökme (slump), birim ağırlık ve çatlak başlangıcına kadar geçen süre bilgileri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Çökme, birim ağırlık ve ortalama çatlak başlangıç süreleri.

Karışım Kodu	Çökme (Slump) (cm)	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Ort. Çatlak Başlangıcı (dk)
REF	15.0	2367	100
BC	600	6.0	2376
	900	3.0	2369
	1100	3.0	2387
B	REF	16.0	2388
	600	4.0	2394
	900	3.0	2406
AB	1100	3.0	2425
	REF	16.0	2397
	600	5.0	2406
AB	900	3.5	2411
	1100	3.0	2426

Daha önce belirtildiği gibi kimyasal katkı miktarı referans karışımlar için benzer çökme değerini elde edecek şekilde BC, B ve AB karışımları için sırasıyla %1.1, %0.9 ve %0.8 olarak belirlenmiş ve lifli karışımlarda da aynı oranlarda kimyasal katkı kullanılmıştır. Tablo 3'te verilen çökme değerlerine bakıldığında, çok az miktardaki lif katkısının bile çökme değerini çok belirgin bir şekilde azalttığı görülmektedir. Bununla birlikte, 900 ve 1100 g/m³ lif kullanılan karışımlardan elde edilen çökme değerleri 600 g/m³ lif kullanılan betona göre biraz daha azalmış olsa da eşit sonuç vermiştir. Bu durum, az miktarda da kullanılsa liflerin kohezyonu etkin bir şekilde artırdığının bir göstergesidir. Fakat burada belirtilmesi gereken önemli bir husus, her ne kadar çökme değerleri çok düşmüş olsa da betonlara sarsma işlemi uygulandığında kolay bir şekilde yerleştikleri gözlemlenmiştir. Diğer yandan karışımlardan elde edilen

birim ağırlık değerlerinin ortalamaları, BC, B ve AB karışımları için sırasıyla 2375, 2403 ve 2410 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Çatlak başlangıcına kadar geçen süreler incelendiğinde ise, BC ve B karışımlarında eklenen lif miktarı arttıkça çatlak başlangıç süresi uzarken AB karışımında genel olarak benzer çıkmıştır. Lif miktarının 600 g/m³ olduğu karışımlarda ise priz süresi ya değişmemiş ya da kısalmıştır. Ayrıca bütün referans karışımlardan elde edilen priz süreleri 135 dakikadır.

Referans betonlardan alınan 150x150x150 mm boyutlu küp numunelerden elde edilen 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin ortalamaları, BC karışımı için 45.6 Mpa (st. sap. 2.2 MPa), B karışımı için 48.6 Mpa (st. sap. 0.6 MPa) ve AB karışımı için 46.4 Mpa (st. sap. 1.4 MPa) olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında üretilen betonların basınç dayanımlarının birbirine çok yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

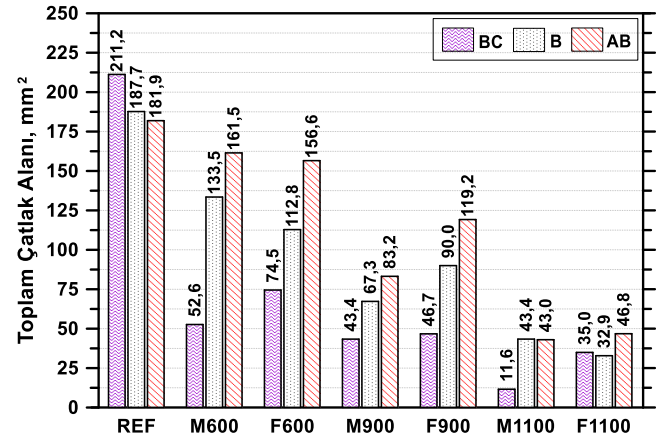
Hatırlanacağı üzere çalışmanın temel hedefi, çatlak alanı ve ortalama çatlak genişliğindeki değişimlere bağlı olarak agrega tane boyut dağılımı, lif geometrisi ve kullanım miktarının PRÇ'yi önlemedeki etkinliklerinin belirlenmesi ile birlikte, agrega tane boyut dağılımının liflerin PRÇ'yi önleme performansı üzerine etkisinin araştırılması olarak belirtilmişti. Bu doğrultuda PRÇ deneyinden elde edilen sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. PRÇ deneyinden elde edilen sonuçlar.

Karışım Kodu	Toplam Çatlak Alanı (mm ²)	Toplam Çatlak Uzunluğu (mm)	Ort. Çatlak Genişliği (mm)	Maks. Çatlak Genişliği (mm)	Alan ÇAO (%)	Ort. Çatlak Genişliği (%)	
BC	REF	221.2	420	0.50	0.96	-	-
	M600	52.6	307	0.17	0.34	75.1	65.9
	M900	43.4	324	0.13	0.39	79.5	73.4
	M1100	11.6	148	0.08	0.31	94.5	84.4
	F600	74.5	331	0.22	0.48	64.7	55.3
	F900	46.7	344	0.14	0.32	77.9	73.0
	F1100	34.9	358	0.10	0.38	83.5	80.6
B	REF	187.7	450	0.42	0.98	-	-
	M600	133.5	425	0.31	0.79	28.9	24.7
	M900	67.3	410	0.16	0.44	64.1	60.6
	M1100	43.4	342	0.13	0.47	76.9	69.5
	F600	112.8	424	0.27	0.74	39.9	36.2
	F900	90.0	468	0.19	0.48	52.1	53.9
	F1100	32.8	347	0.09	0.34	82.5	77.3
AB	REF	181.9	419	0.43	0.93	-	-
	M600	161.5	428	0.38	0.87	11.2	13.1
	M900	83.2	593	0.14	0.40	54.3	67.7
	M1100	43.0	328	0.13	0.43	76.4	69.8
	F600	156.6	479	0.33	0.94	13.9	24.8
	F900	119.2	483	0.25	0.60	34.5	43.2
	F1100	46.8	379	0.12	0.41	74.3	71.6

Tablo 4'te referans karışımlar için verilen sonuçlar incelendiğinde, agrega tane boyut dağılımı irileştikçe oluşan maksimum çatlak genişliği değeri çok fazla fark etmezken toplam çatlak alanı ve ortalama çatlak genişliği değerlerinin belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir. Referans BC karışımına göre referans B ve AB karışımlarından elde edilen ortalama çatlak genişliğindeki azalma oranları sırasıyla %16 ve %14 iken, toplam çatlak alanı değerlerindeki azalma

oranları ise sırasıyla %15 ve %18'dir. Bilindiği üzere agrega tane boyut dağılımı irileştikçe karışımdaki ince madde miktarı azalmakta dolayısıyla agregaların oluşturduğu özgül yüzey alanı azalmaktadır. Bu nedenle, agregaların yüzeyinde tutulabilen su miktarı da azalmakta ve böylece betonun terleme miktarında artış meydana gelmektedir. Giriş bölümünden de hatırlanacağı üzere bu durum, sabit buharlaşma hızına maruz kalan numunelerin yüzeyinde su filminin daha uzun süreli olarak kalmasını sağlamaktadır. Böylece, negatif kapiler basıncın artışı, menisk oluşumu gibi mekanizmalar gecikmekte ve menisk sistemi çok daha geç bozulmaktadır. Sonuç olarak bu durum, ince tane boyut dağılımına sahip karışımlara göre iri tane boyut dağılımına sahip karışımda çok daha az miktarda çatlak oluşmasına neden olmuştur. Elde edilen sonuçlara göre lif geometrisi ve kullanım miktarının toplam çatlak alanına etkisini gösteren grafik Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'da verilen grafik incelendiğinde, kullanılan lif miktarı arttıkça PRÇ'yi önleme konusunda liflerin etkinliğinin arttığı görülmektedir. Agrega tane boyutu dağılımının en ince olduğu BC karışımında, monofilament lif tüm kullanım oranlarında fibrile liften daha iyi performans sergilerken, B kodlu karışımlarda 600 ve 1100 g/m³ kullanım oranlarında fibrile lif daha iyi sonuçlar vermiştir. 900 g/m³ lif kullanımında ise, tüm agrega tane boyutu dağılımlarında en iyi sonuçlar monofilament lif katkılı betonlardan elde edilmiştir. Burada gözden kaçırılmaması gereken bir husus ta 1100 g lif kullanımında oluşan çatlak değerlerinin BC-M1100 karışımı hariç birbirine çok yakın değerlerde olmasıdır.

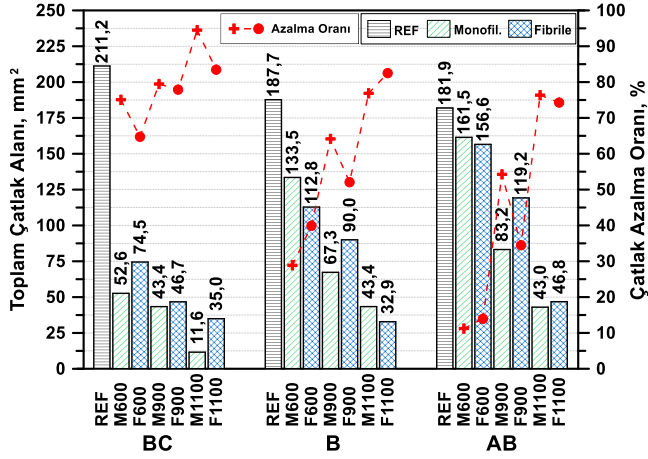


Şekil 6. Lif geometrisi ve kullanım miktarının toplam çatlak alanına etkisi.

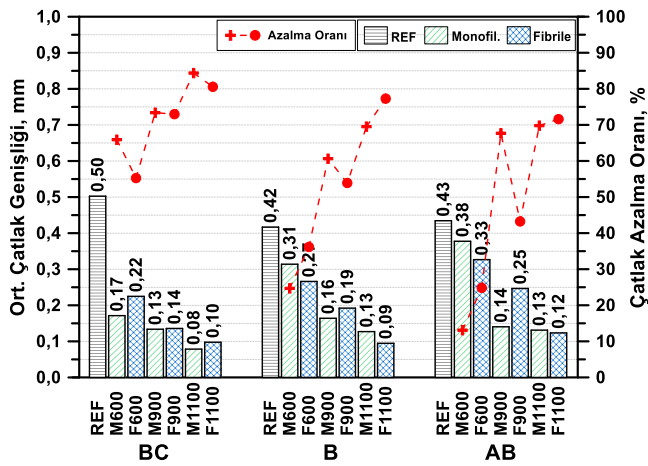
Bu durum, belirli bir kullanım miktarından sonra liflerin geometrisine bağlı bir farklılığın oluşmadığını göstermektedir. Agrega tane boyut dağılımının, liflerin toplam çatlak alanına ve ortalama çatlak genişliğine etkisi sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Ayrıca, bu şekillerde her bir çatlak özelliğinin ASTM C1579 [27] standardına göre hesaplanan ÇAO değerleri de çizgi grafik olarak verilmiştir.

Agrega tane boyut dağılımına göre liflerin toplam çatlak alanı üzerindeki etkisinin gösterildiği Şekil 7'ye bakıldığında, referans betonlar arasında en fazla çatlak oluşan BC karışımına en düşük miktarda lif eklenmesi ile birlikte toplam çatlak alanının çok belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir. Yani referans betonlar arasındaki eğilim karışımlara lif eklenmesi ile birlikte tersine dönmüştür.

Örneğin, karışıma 600 g monofilament lif eklenmesiyle birlikte BC, B ve AB karışımları için ÇAO değerleri sırasıyla %75, %29 ve %11 iken, 900 g eklenmesiyle birlikte bu değerler %80, %64 ve %54'tür. Bu sonuçlar göstermektedir ki eğer karışım tane boyut dağılımı yeteri kadar ince ise çok düşük miktarda dahi lif kullanımı, PRÇ'yi önlemede ciddi bir fayda sağlamaktadır.



Şekil 7. Agregatane boyutu dağılımının toplam çatlak alanına etkisi.

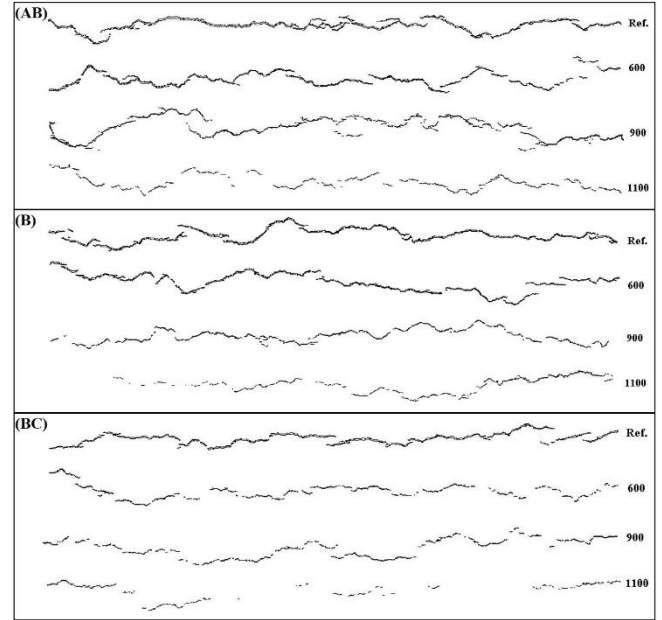


Şekil 8. Agregatane boyutu dağılımının ortalama çatlak genişliğine etkisi.

Şekil 8 incelendiğinde, benzer etkinliğin ortalama çatlak genişliği değerleri için de geçerli olduğu görülmektedir. Deneyler sonucunda elde edilen en yüksek ÇAO değerleri, BC dağılımında %95 ile M1100 karışımından, B dağılımında %82 ile F1100 karışımından ve AB dağılımında %76 ile M1100 karışımından elde edilmiştir. Ortalama çatlak genişlikleri incelendiğinde ise çatlak alanları ile benzer bir durum söz konusudur. Kullanılan liflerin ince tane boyut dağılımına sahip betonda çok daha iyi performans göstermelerinin sebebi olarak, agregatane özgül yüzey alanının daha ince tane boyut dağılımına sahip karışımda çok daha yüksek olması ve böylece lif ile harç fazı arasındaki temas alanının artmasına bağlı olarak aderansın daha iyi olması gösterilebilir. Ayrıca, monofilament lif te benzer şekilde fibrile life göre çok daha ince en kesite sahip olduğundan daha yüksek özgül yüzey alanına sahiptir. Böylece, karışım içerisinde daha iyi dağılıp daha fazla harç fazı ile temas yüzeyi oluşturmakta ve sonuç olarak daha iyi performans sergilemektedir. Agregatane boyut dağılımı irileştikçe azalan

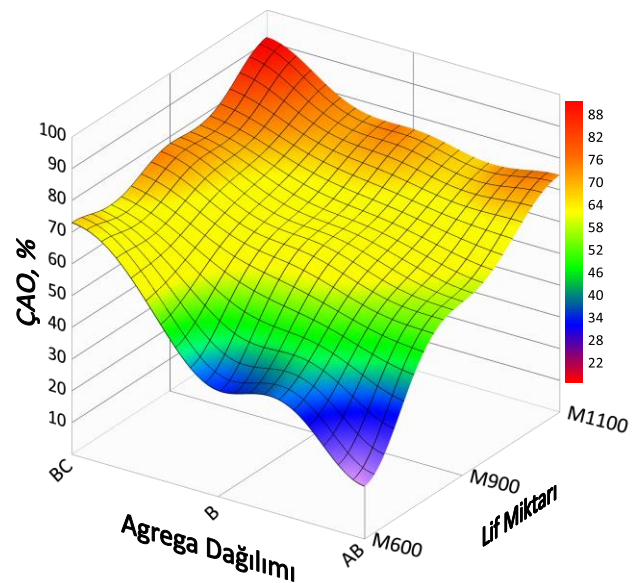
ince malzeme miktarına bağlı olarak lifler tutunabilecek daha az yüzey bulabilmiş ve böylece ÇAO değerleri özellikle düşük lif kullanım oranlarında daha düşük seviyede kalmıştır.

Şekil 9'da monofilament lif kullanımının, beton karışımı agregatane dağılımına bağlı olarak PRÇ'yi önlemedeki etkinliğini gösteren örnek çatlak izleri verilmiştir. Örnek çatlak izlerine ait görüntüler, fotoğrafların işlenmesi ile elde edilmiştir. Üstte AB, ortada B ve altta BC karışımlarına ait görüntüler yukarıdan aşağıya doğru artan lif oranına göre sıralanmıştır.

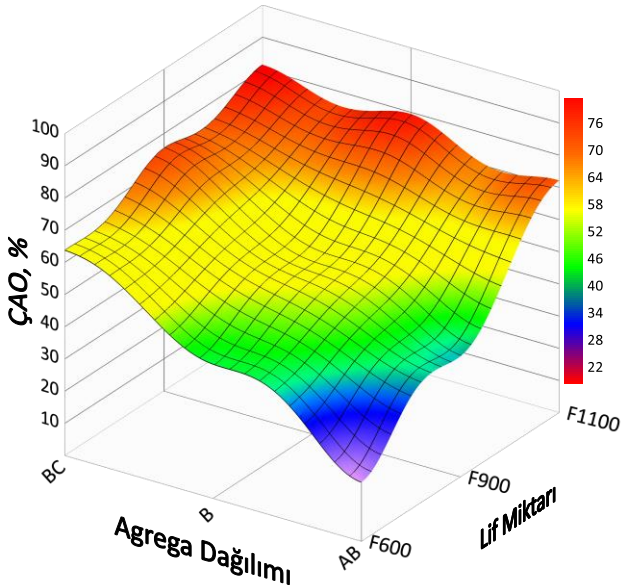


Şekil 9. Deney sonunda monofilament lif kullanılan karışımlardan elde edilen örnek çatlak izleri.

Verilen şekilden görüldüğü üzere, her bir agregatane boyut dağılımına sahip karışımda artan lif miktarı çatlak miktarını azaltmıştır ve AB'den BC karışımına doğru geçtikçe lifler çok daha etkin bir şekilde çatlak oluşumunu engellemiştir. Şekil 10 ve 11'de sırasıyla monofilament ve fibrile lifin, agregatane boyut dağılımına bağlı olarak ÇAO (çatlak alanına göre) değerlerini gösteren yüzey grafikleri verilmiştir.



Şekil 10. Monofilament lifin, agregatane boyut dağılımına bağlı çatlak azaltma oranı (ÇAO) değerlerini gösteren yüzey grafiği (toplam çatlak alanına göre).



Şekil 11. Fibrile lifin, agregatane boyut dağılımına bağlı çatlak azaltma oranı (ÇAO) değerlerini gösteren yüzey grafiği (toplam çatlak alanına göre).

Verilen yüzey grafiklerine bakıldığında, lif kullanımının ince agregatane boyut dağılımına sahip beton karışımlarının PRÇ'yi çok daha etkin bir şekilde önleyebildikleri açık bir şekilde görülmektedir. Hem monofilament lif hem de fibrile lif kullanımında ÇAO değerleri, lif dozajı arttıkça ve beton karışımının agregatane boyut dağılımı incelidikçe belirgin bir şekilde artmıştır. Özellikle agregatane boyutu dağılımının incelenmesi liflerin performansını çok etkilemiştir. Örneğin BC-M600 karışımından elde edilen ÇAO ile AB-M1100 karışımından elde edilen neredeyse eşit çıkmıştır.

Sonuçlar

Agregatane boyut dağılımı ve PP lif kullanımının betonda plastik rötre çatlağı oluşumu üzerine etkilerinin incelendiği çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Betonlara çok düşük oranlarda bile lif eklenmesi beton kıvamını önemli ölçüde düşürmüştür.
2. Referans betonlarda, agregatane boyutu dağılımı incelidikçe, toplam PRÇ alanı artmıştır.
3. Lifli betonlarda, kullanılan lif miktarı arttıkça toplam PRÇ alanı azalmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan liflerden monofilament lif aynı boya sahip olmalarına rağmen fibrile life göre daha etkili sonuçlar vermiştir.
4. Agregatane boyutu dağılımının liflerin etkinliğine etkisi incelendiğinde, tane boyutu dağılımı incelidikçe liflerin etkinliği artmıştır. Fakat, 1100 g/m³ lif katkısı yapıldığında agregatane boyut dağılımına ve lif tipine bağlı belirgin bir fark gözlemlenmemiştir.
5. PRÇ'yi önlemek için kullanılan liflerin etkinliği, özellikle düşük kullanım oranlarında agregatane boyut dağılımına bağlı olarak büyük farklılık göstermiştir. Bu hususun uygulamalarda göz önünde bulundurulması önemli olacaktır.

Kaynaklar

- [1] W. P. Boshoff and R. Combrinck, "Modelling the severity of plastic shrinkage cracking in concrete," *Cem. Concr. Res.*, vol. 48, pp. 34–39, 2013, doi: 10.1016/j.cemconres.2013.02.003.
- [2] G. M. Moelich, J. E. van Zyl, N. Rabie, and R. Combrinck, "The influence of solar radiation on plastic shrinkage cracking in concrete," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 123, no. July, p. 104182, 2021, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2021.104182.
- [3] A. Sivakumar and M. Santhanam, "A quantitative study on the plastic shrinkage cracking in high strength hybrid fibre reinforced concrete," vol. 29, pp. 575–581, 2007, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2007.03.005.
- [4] A. Leemann, P. Nygaard, and P. Lura, "Impact of admixtures on the plastic shrinkage cracking of self-compacting concrete," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 46, pp. 1–7, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2013.11.002.
- [5] W. Yiran, Z. Zhiqing, L. Juan, and Y. Lei, "Experimental Study on Preventive Measures of Plastic Shrinkage Cracking of Cement Concrete," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 96, no. Cictp, pp. 196–204, 2013, doi: 10.1016/j.sbspro.2013.08.026.
- [6] T. Rahmani, B. Kiani, M. Bakhshi, and M. Shekarchizadeh, "Application of different fibers to reduce plastic shrinkage cracking of concrete," pp. 635–642, 2012.
- [7] V. T. N. Dao, P. F. Dux, and P. H. Morris, "Tensile Properties of Early-Age Concrete," *ACI Mater. J.*, no. 106, 2009.
- [8] E. Boghossian and L. D. Wegner, "Use of flax fibres to reduce plastic shrinkage cracking in concrete," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 30, no. 10, pp. 929–937, Nov. 2008, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2008.09.003.
- [9] P. Soroushian and S. Ravanbakhsh, "Control of Plastic Shrinkage Cracking with Specialty Cellulose Fibers," no. 95, pp. 429–435, 1999.
- [10] N. Banthia and R. Gupta, "Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete," vol. 36, pp. 1263–1267, 2006, doi: 10.1016/j.cemconres.2006.01.010.
- [11] N. Kouta, J. Saliba, and N. Saiyouri, "Effect of flax fibers on early age shrinkage and cracking of earth concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 254, p. 119315, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119315.
- [12] A. Kronlöf, M. Leivo, and P. Sipari, "Experimental study on the basic phenomena of shrinkage and cracking of fresh mortar," *Cem. Concr. Res.*, vol. 25, no. 8, pp. 1747–1754, Dec. 1995, doi: 10.1016/0008-8846(95)00170-0.
- [13] R. Combrinck, M. Kayondo, B. D. le Roux, W. I.

- de Villiers, and W. P. Boshoff, "Effect of various liquid admixtures on cracking of plastic concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 202, pp. 139–153, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.12.060.
- [14] M. Nasir, O. S. Baghabra Al-Amoudi, and M. Maslehuddin, "Effect of placement temperature and curing method on plastic shrinkage of plain and pozzolanic cement concretes under hot weather," *Constr. Build. Mater.*, vol. 152, pp. 943–953, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.068.
- [15] P. Lura, B. Pease, G. B. Mazzotta, F. Rajabipour, and J. Weiss, "Influence of Shrinkage-Reducing Admixtures on Development of Plastic Shrinkage Cracks," no. 104, pp. 187–194, 2008.
- [16] D. P. Bentz, M. R. Geiker, and K. K. Hansen, "Shrinkage-reducing admixtures and early-age desiccation in cement pastes and mortars," vol. 31, pp. 1075–1085, 2001.
- [17] J. Mora-ruacho, R. Gettu, and A. Aguado, "Cement and Concrete Research Influence of shrinkage-reducing admixtures on the reduction of plastic shrinkage cracking in concrete," *Cem. Concr. Res.*, vol. 39, no. 3, pp. 141–146, 2009, doi: 10.1016/j.cemconres.2008.11.011.
- [18] W. Zhang *et al.*, "Influence of shrinkage reducing admixtures on the performance of cementitious composites: A review," *Constr. Build. Mater.*, vol. 325, no. November 2021, p. 126579, 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126579.
- [19] R. Bloom and A. Bentur, "Free and Restrained Shrinkage of Normal and High-Strength Concretes," no. 92, pp. 211–217, 1996.
- [20] G. Olivier, R. Combrinck, M. Kayondo, and W. P. Boshoff, "Combined effect of nano-silica, super absorbent polymers, and synthetic fibres on plastic shrinkage cracking in concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 192, pp. 85–98, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.10.102.
- [21] S. Ghourchian, M. Wyrzykowski, M. Plamondon, and P. Lura, "On the mechanism of plastic shrinkage cracking in fresh cementitious materials," *Cem. Concr. Res.*, vol. 115, no. October 2018, pp. 251–263, 2019, doi: 10.1016/j.cemconres.2018.10.015.
- [22] K. Wang, S. P. Shah, and P. Phuaksuk, "Plastic Shrinkage Cracking in Concrete Materials — Influence of Fly Ash and Fibers," no. 98, 2002.
- [23] H. Zhao *et al.*, "Effect of clay content on plastic shrinkage cracking of cementitious materials," *Constr. Build. Mater.*, vol. 342, no. PA, p. 127989, 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127989.
- [24] T. A. Samman, W. H. Mirza, and F. F. Wafa, "Plastic Shrinkage Cracking of Normal and High-Strength Concrete : A Comparative Study," no. 93, pp. 36–40, 1996.
- [25] P. Soroushian, F. Mirza, and A. Alhozaimy, "Plastic Shrinkage Cracking of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete," no. 92, pp. 553–560, 1995.
- [26] Z. Bayasi and M. McIntyre, "Application of Fibrillated Polypropylene Fibers for Restraint of Plastic Shrinkage Cracking in Silica Fume Concrete," no. 99, pp. 337–344, 2003.
- [27] ASTM International, "Standard Test Method for Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete (Using a Steel Form Insert) (ASTM C 1579)," 2021. doi: 10.1520/C1579-13.2.
- [28] Turkish Standards Institution, "Design of Concrete Mixes (TS 802)," 2016.
- [29] Turkish Standards Institution, "Testing fresh concrete, Part 2: Slump test (TS EN 12350-2:2019)," 2019.
- [30] Turkish Standards Institution, "Testing fresh concrete, Part 6: Density (TS EN 12350-6:2019)," 2019.
- [31] Turkish Standards Institution, "Determination of the concrete setting time by measurement of penetration resistance (TS 2987)," 1978.
- [32] Turkish Standards Institution, "Testing hardened concrete, Part 3: Compressive strength of test specimens (TS EN 12390-3:2019)," 2019.



Comparison of lightweight and normal-weight aggregate concrete

Hatice ÇİÇEK¹, İsmail Ağa GÖNÜL^{2*}

¹ Dicle University, Department of Architecture, hatice@dicle.edu.tr, Orcid No: 0000-0003-3271-1854

² Dicle University, Department of Architecture, ismail@dicle.edu.tr, Orcid No 0000-0002-9833-7140

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 July 2022
Received in revised form 2 August 2022
Accepted 13 August 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Lightweight aggregate concrete,
normal-weight aggregate concrete,
interfacial transition zone, calcium
hydroxide crystals, compressive
strength, oven-dry density

Doi: 10.24012/dumf.1142146

* Corresponding author

ABSTRACT

In this experimental study, lightweight aggregate concrete (LWAC) and normal-weight aggregate concrete (NWAC) were compared within the contexts of the size of calcium hydroxide (CH) crystals in interfacial transition zone (ITZ), compressive strength, and oven-dry density. Six LWAC and NWAC mixtures were prepared for this study. Thirty-six images obtained from Scanning Electron Microscope (SEM) were used to determine the size of CH crystals in ITZ of LWAC and NWAC. Eighteen test specimens (three for each of the six LWAC and NWAC mixtures) were prepared in 150x300 mm sizes and in the form of cylinders for the compressive strength tests and also eighteen test specimens in 100x100x100 mm sizes and in the form of cubes for the oven-dry density tests. It was determined that the size of CH crystals in ITZ of LWAC is 8.43% less than (on average), compressive strength of LWAC is 39.09% more than (on average), and oven-dry density of LWAC is 10.97% less than (on average) the NWAC's that has the same volumetric proportions of ingredients. The findings of this study show that lightweight aggregate that has high particle density, angular shape, rough surface texture, and a structure that enables chemical reaction with CH crystals will be beneficial for the ITZ microstructure and properties of concrete. It is considered that these properties should be taken into consideration in the selection of lightweight aggregate for structural concrete production.

Introduction

The components of the hydrated cement paste are some unhydrated clinker grains, pores, and hydration products. Calcium hydroxide (CH), calcium sulfoaluminates hydrates, and calcium silicate hydrate (C-S-H) are the main hydration products [1].

In the hydrated cement paste, CH constitutes up to 25% of the volume of solids [1]. Microcrystalline or amorphous CH can be formed in C-S-H. They are usually in the form of micrometer-sized crystals. The vast majority of CH are formed as isolated hexagonal crystals and/or as massive clusters [2]. The studies related with CH are given in References [3-17].

CH is the most soluble hydration product. When the cement paste is exposed to water, CH dissolves and increases the porosity of cement paste. This makes the cement paste more vulnerable to further leaching and chemical attack. In this respect, CH is one of the weak links for the durability of concrete. Furthermore, CH isn't important as much as C-S-H for contributing strength to cement paste [18]. CH also has a preferential direction of fracture, so that with its larger crystal dimensions favorable conditions for crack

propagation are formed, and thus a possible reduction of strength may occur [19].

The concrete has three phases according to microstructural observations. One of them is named as bulk cement paste. The other is known as aggregate phase. The third phase is referred as interfacial transition zone (ITZ) and links the other two phases. ITZ is located typically 10 to 50 μm thick around the aggregate particles [20]. Larger crystal dimensions (particularly of CH) and pores differentiate ITZ from bulk cement paste. Primary cause of this difference is water accumulation around coarse aggregate particles in fresh concrete, which is called "bleeding". Bleeding increases water/cement (W/C) ratio in ITZ. Increased W/C ratio causes crystals to be larger in this zone.

In order to decrease the size and content of CH crystals in ITZ, various studies have been done. Most of these studies focused on the mineral admixtures that have a decreasing effect on CH size and content in ITZ. Some aggregates may also offer a similar effect in ITZ. However, the quantitative studies on the size of CH crystals in ITZ of concrete produced with various aggregate types have been very limited.

Lightweight aggregate (LWA) recently has found extensive use in structural concrete applications. It has different characteristics according to normal-weight aggregate (NWA). Thus, the size of crystals in ITZ and as well as the mechanical and physical properties of lightweight aggregate concrete (LWAC) and normal-weight aggregate concrete (NWAC) vary. In this experimental study, LWAC and NWAC were compared within the contexts of the size of CH crystals in ITZ, compressive strength, and oven-dry density. In LWAC scoria aggregate, in NWAC gravel aggregate were used as coarse aggregate. Scoria is a natural lightweight aggregate. It was determined that there are few studies [21-29] in

literature concerned with scoria aggregate. None of them examines the size of CH crystals in ITZ of concrete produced with scoria aggregate.

Material and methods

Preparation of LWAC and NWAC mixtures

Six LWAC and NWAC mixtures that were prepared and ratios and proportions of their ingredients are given in Table 1. Properties of cement, physical properties of aggregates and chemical content of scoria aggregate used in mixtures were given respectively in Table 2, Table 3, and Table 4.

Table 1. Mixture design of LWAC and NWAC.

Mixture Code	Coarse Aggregate / Total Aggregate (Ac/At) Ratio by Volume (%)	Water / Cement (W/C) Ratio by Weight (%)	Cement Weight (kg/m ³)	Coarse Aggregate (scoria or gravel) Weight (kg/m ³)	Fine Aggregate (river sand) Weight (kg/m ³)	Water Weight (kg/m ³)
LWAC 1	40	37.5	500	474.8	994	187.5
LWAC 2	50	37.5	500	593.5	828.4	187.5
LWAC 3	60	37.5	500	712.3	662.7	187.5
NWAC 1	40	37.5	500	673.1	994	187.5
NWAC 2	50	37.5	500	841.4	828.4	187.5
NWAC 3	60	37.5	500	1009.7	662.7	187.5

Table 2. Properties of cement used in LWAC and NWAC mixtures.

Strength Properties		Physical Properties			Chemical Properties	
Compressive strength at 28 days	46.5 MPa	Specific weight (g/cm ³)	3.12	Insoluble residue (%)	0.55	
Compressive strength at 7 days	39.5 MPa	Volume constancy (mm)	1.2	SO ₃ (%)	2.38	
Compressive strength at 2 days	31.0 MPa	Specific surface area (cm ² /g)	3395	Cl (%)	0.0085	
		Initial setting time (hr)	2.15	Loss on ignition (%)	2.65	
		Final setting time (hr)	3.35			

Table 3. Physical properties of aggregates used in LWAC and NWAC mixtures.

Aggregates Used in Mixtures	Physical Properties					
	Maximum Particle Size (mm)	Particle Density (Mg/m ³)	Bulk Density (Mg/m ³)	Shape Index	Water Absorption (24 h) (%)	Moisture Content (%)
Scoria (coarse aggregate)	16	1.82	0.86	10	10.88	0.89
Gravel (coarse aggregate)	16	2.58	1.66	11	1.39	1.54
River sand (fine aggregate)	4	2.54	1.71	-	2.54	1.96

Table 4. Chemical content of scoria aggregate used in LWAC mixtures.

Contents	Ratios (%)
SiO ₂ (total)	45.06
Insoluble residue	59.53
Al ₂ O ₃	13.34
Fe ₂ O ₃	12.80
CaO	12.05
MgO	7.41
SO ₃	0.36
Loss on ignition	1.01
Na ₂ O	2.88
K ₂ O	1.32

Absolute volume method was used for proportioning the ingredients of LWAC and NWAC mixtures. Each LWAC and NWAC mixture was targeted to have high strength. River sand and gravel aggregate were entirely dried in the oven before used in concrete mixtures. It is suggested to keep lightweight aggregates in water during ten minutes before using them in concrete mixtures. However, it was thought that this period of time wouldn't be sufficient due to high cement content used in LWAC mixtures and ambient temperature of 30-35 °C at the time of LWAC production. Therefore, before used in LWAC mixtures, scoria aggregate was kept in water during thirty minutes after entirely dried in the oven. Saturation water of aggregates was added to LWAC and NWAC mixtures subsequently.

Preparation of test specimens and determination of the compressive strength and oven-dry density

In order to determine the compressive strength and oven-dry density of prepared LWAC and NWAC mixtures in the hardened state, test specimens were prepared. In this regard, moulds for test specimens were prepared, moulds were filled with LWAC and NWAC mixtures that were prepared and then compacted (by vibrating table), surfaces of them were leveled and finally test specimens were cured. These operations carried out according to procedures given in TS EN 12390-1 [30] and TS EN 12390-2 [31].

In this study, 18 test specimens (three for each of the six LWAC and NWAC mixtures) were prepared in 150x300 mm sizes and in the form of cylinders for the compressive strength tests and also 18 test specimens in 100x100x100 mm sizes and in the form of cubes for the oven-dry density tests.

It was seen that there is no consensus in literature on the curing time and testing age of LWAC test specimens. In this study, LWAC test specimens were cured in lime-saturated water during 56 days. Later on, they were kept in the laboratory under environmental conditions at the end of 90th day.

The compressive strength of these test specimens was determined according to instructions given in TS EN 12390-3 [32] and TS EN 12390-4 [33], and the oven-dry

density of test specimens was determined according to instructions given in TS EN 12390-7 [34].

Preparation of SEM specimens and determination of the size of CH crystals in ITZ

In this study, images obtained from Scanning Electron Microscope (SEM) were used to determine the size of CH crystals in ITZ. For this, 100x100x500 mm sized beam specimens were prepared at first. Considering the fact that ITZ and scoria aggregate may interact within time, the prepared beam specimens were kept in the laboratory under environmental conditions for one year. The 10x25x50 mm sized SEM specimens were obtained from these beam specimens (Figure 1). SEM specimens were polished, wiped with methyl alcohol to obstruct further hydration, coated with gold for conductivity, and dried in an oven.

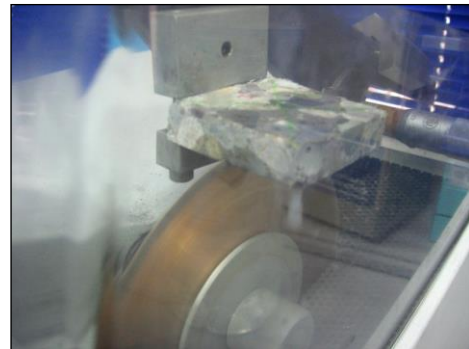


Figure 1. Preparation of SEM specimens.

In able to determine the size of CH crystals in ITZ, 6 SEIs were taken from each SEM specimen. Thus, 36 SEIs at 10000x magnification ratio were taken in total. Quantitative data related with the size of CH crystals was obtained from SEIs by direct measurement. The size of each CH crystal was measured in two perpendicular directions and was determined by taking average of these two sizes. The size of CH crystals in ITZ of each SEM specimen was determined by taking the average of the measured sizes of the largest three CH crystals in ITZ.

Results and discussion

Comparison of LWAC and NWAC within the context of the size of CH crystals in ITZ

The sizes of CH crystals in ITZ of LWAC and NWAC that have three different Ac/At ratios and the same volumetric proportions of ingredients are given in Figure 2 and the images of CH crystals in Figure 3. The size of CH crystals in ITZ of LWAC that has Ac/At ratio of 40% is 6.52%, LWAC's that has Ac/At ratio of 50% is 9.51%, and LWAC's that has Ac/At ratio of 60% is 9.27% less than the sizes of CH crystals in ITZ of NWAC specimens that have the same Ac/At ratios.

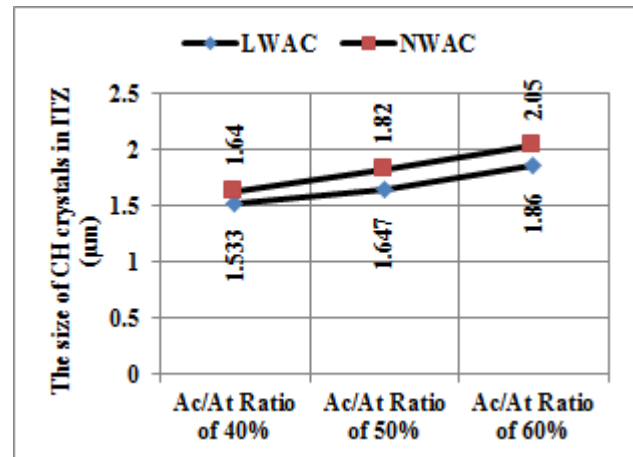


Figure 2. The sizes of CH crystals in ITZ of LWAC and NWAC.

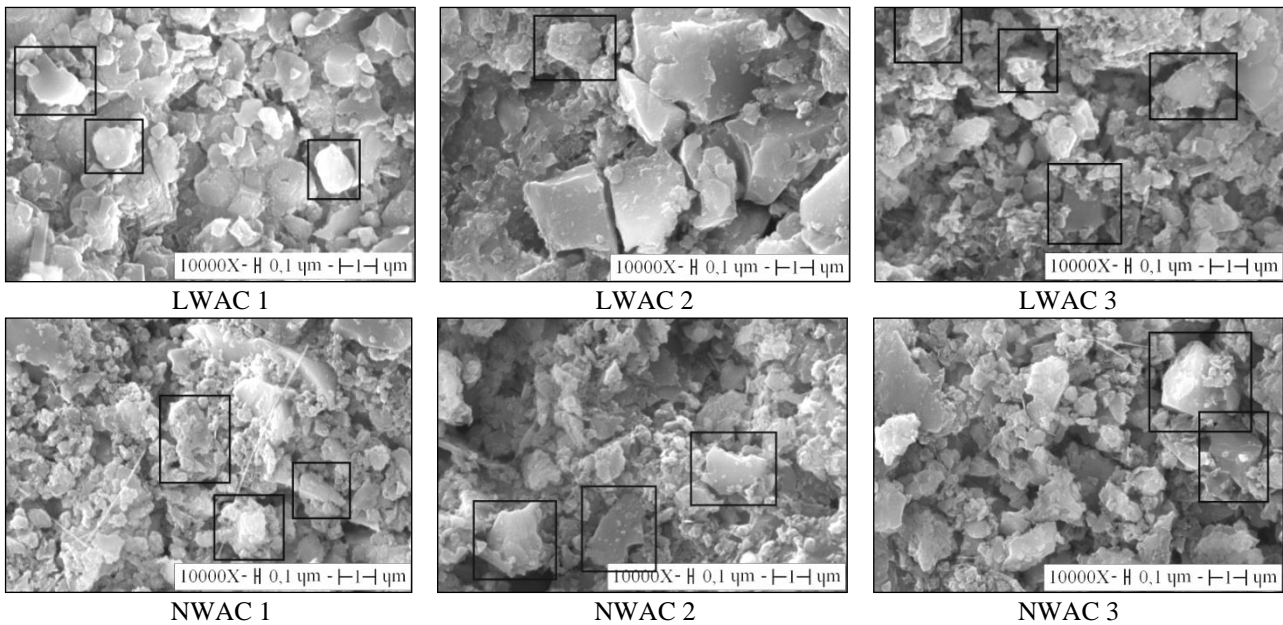


Figure 3. The images of CH crystals in ITZ of LWAC and NWAC.

The differences in the sizes of CH crystals in ITZ of LWAC and NWAC are considered to arise from the differences in the chemical content of the aggregates used for the production of them. In order to explain this situation, ITZ's hydration development must be followed: When cement is dispersed in water, water gets rapidly saturated with various ions. Then, some ions combine to form CH and ettringite in ITZ, as in the bulk cement paste. These crystalline products in ITZ consist of relatively larger crystals. In the next stage of hydration, C-S-H and smaller crystals of CH and ettringite are formed and the space between the large CH and ettringite crystals starts filling by them. In later process of hydration, chemical reactions between the aggregate (siliceous aggregate or limestone) and the cement paste may form new hydration products (C-S-H or carboaluminate hydrates) in the pores

of ITZ. Such chemical reactions reduce the concentration of CH in ITZ [1].

Scoria aggregate particles that were used in LWAC have a rich silica and alumina content. In this study, considering the fact that ITZ and scoria aggregate may interact within time, the prepared beam specimens that SEM specimens removed from were kept in the laboratory under environmental conditions for one year. In this long term, scoria aggregate particles must have reacted with portlandite crystals to form so-called secondary hydration products. In this case, small portlandite crystals dissolve entirely, and large portlandite crystals become smaller.

On the other hand, when the Ac/At ratio of both LWAC and NWAC gets increased, the size of CH crystals in ITZ is found to be increased. The change in aggregate grading when W/C ratio and the maximum size of coarse aggregate

held constant, effects the bleeding in concrete mixture. When the Ac/At ratio of concrete gets increased, the bleeding around the coarse aggregate particles is increased. In this situation, the W/C ratio of ITZ is increased. CH forms as crystals with a wide range of shapes and sizes, depending primarily on the amount of space available for growth [18]. According to Richardson, there is a lot of space when the W/C is high. Thus, hydration products can grow unhindered and large crystals are formed [35].

Comparison of LWAC and NWAC within the context of compressive strength

Compressive strengths of LWAC and NWAC that have three different Ac/At ratios and the same volumetric proportions of ingredients are given in Figure 4. Compressive strength of LWAC that has Ac/At ratio of 40% is 24.7%, LWAC's that has Ac/At ratio of 50% is 40.09%, and LWAC's that has Ac/At ratio of 60% is 52.47% more than the compressive strengths of NWAC specimens that have the same Ac/At ratios.

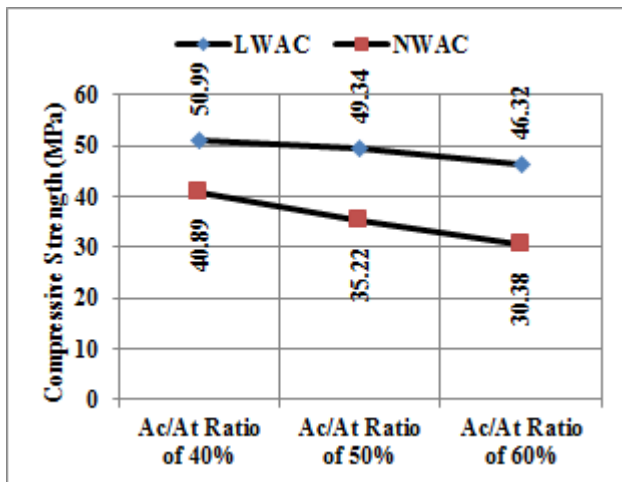


Figure 4. Compressive strengths of LWAC and NWAC.

Since the strength of the scoria aggregate is less than the strength of the gravel aggregate, it can be expected that the compressive strength of LWAC that is produced with scoria aggregate would be less than the compressive strength of NWAC that is produced with gravel aggregate. However, the values obtained from the tests that were made for this study demonstrate that the compressive strength of LWAC is much more than the compressive strength of NWAC.

Concrete is a composite material that consists of three phases named bulk cement paste, aggregate and ITZ, as mentioned before. It is the weakest of these three phases that determines the compressive strength of produced concrete.

In NWAC, aggregate is usually not the critical phase because it is generally stronger and stiffer than the bulk cement paste and ITZ. Aggregate strength only becomes important as target strength increases; particularly in the

case of very high strength concrete [36]. In NWAC, the pores and the micro-cracks in ITZ are more than in the bulk cement paste because of the bleeding that occurs around the coarse aggregates in fresh concrete. Therefore, strength limiting phase in NWAC is generally ITZ.

The conditions can be different in LWAC. In TS 1114 EN 13055-1 [37], aggregate with a particle density not exceeding 2 Mg/m³ is qualified as lightweight aggregate. Lightweight aggregate has less particle density and therefore strength compared to normal-weight aggregate. Lightweight aggregate with very low particle density can be the strength limiting phase in LWAC. However, the particle density (1.82 Mg/m³) of the scoria aggregate used in this study is close to the maximum particle density limit determined for lightweight aggregates. In this context, it is considered that the strength limiting phase is ITZ for both LWAC and NWAC produced in this study.

ITZ causes concrete to collapse at levels below the stress level that the other two phases can withstand. ITZ strength of LWAC is considered to be much more than the ITZ strength of NWAC. There are several reasons for this consideration.

In the first instance, the adhesion between hydration products in ITZ depends on the van der Waals force of attraction as in cement paste. Therefore, the strength of ITZ is affected by the volume and size of pores present. Larger hydration products of ITZ have lower surface area and weaker van der Waals forces of attraction accordingly. Thus, they possess less adhesion capacity. Besides, larger hydration products of ITZ form a more porous framework [1]. In this manner, the size of CH crystals can be regarded as one of the indicators of the ITZ strength. Since the size of CH crystals in ITZ of LWAC is less than NWAC's, ITZ strength of LWAC is considered to be more than NWAC's.

Further, in fresh NWAC, the water accumulated around the normal-weight aggregates evaporates during the drying process, leaving behind a porous ITZ. Lightweight aggregates, on the other hand, can absorb the water in ITZ due to their porous structure, leading to a stiffer ITZ microstructure. This situation increases the ITZ strength of LWAC.

Furthermore, in the concrete's strength gaining process, the water absorbed by the lightweight aggregates moves towards ITZ and bulk cement paste, so increases the hydration degree of the cement. This process, which is defined as 'internal curing' in the literature, contributes to the hydration development of cement more than the 'external curing'. Internal curing is particularly useful for concrete with low water/cement ratio and high cement content, as in this study, because the cement paste is denser in this situation and it is more difficult for water to reach the inner parts of the concrete by external curing. Increasing hydration degree by internal curing decreases the capillary porosity and consequently increases the ITZ strength of LWAC.

In addition to ITZ strength, the physical bond between ITZ and the aggregate particles also affects the compressive

strength of the concrete. When the physical bond between ITZ and aggregate particles gets stronger, the compressive strength of the concrete increases, and can resist the stresses as a whole. When the porosity of ITZ gets increased, physical bond weakens because the contact surface between ITZ and aggregate particles decreases. Since the ITZ of NWAC is more porous, the bond between ITZ and aggregate particles is weaker. In addition, according to Neville, Gündüz, Uğur, Çelik and Gürdal, as the indentations and protrusions on the surface of the aggregate particle increase, the contact surface and the cohesive force between ITZ and the aggregate particle also increase and physical locking occurs [38]. Therefore, it is considered that angular shaped and rough surface textured scoria aggregate particles (Figure 5) provides a much stronger bond with ITZ than the round shaped and smooth surface textured gravel aggregate particles.



Figure 5. Scoria aggregate particles that were used in the study.

LWAC and NWAC were produced with three different Ac/At ratios. Increase in the ratio of coarse aggregate to total aggregate increases the weak ITZ phase. For this reason, with higher Ac/At ratios, it was possible to produce LWAC and NWAC that have lower compressive strength values. However, the decrease in the compressive strength value of LWAC remained limited due to the positive contribution of the scoria aggregate to ITZ strength and its stronger bond with this zone. Thus, the difference between the compressive strength values of LWAC and NWAC is found to be increased when the Ac/At ratios of them get increased.

Comparison of LWAC and NWAC within the context of oven-dry density

Oven-dry densities of LWAC and NWAC that have three different Ac/At ratios and the same volumetric proportions of ingredients are given in Figure 6. Oven-dry density of LWAC that has Ac/At ratio of 40% is 8.97%, LWAC's that has Ac/At ratio of 50% is 10.71%, and LWAC's that has Ac/At ratio of 60% is 13.22% less than the oven-dry densities of NWAC specimens that have the same Ac/At ratios.

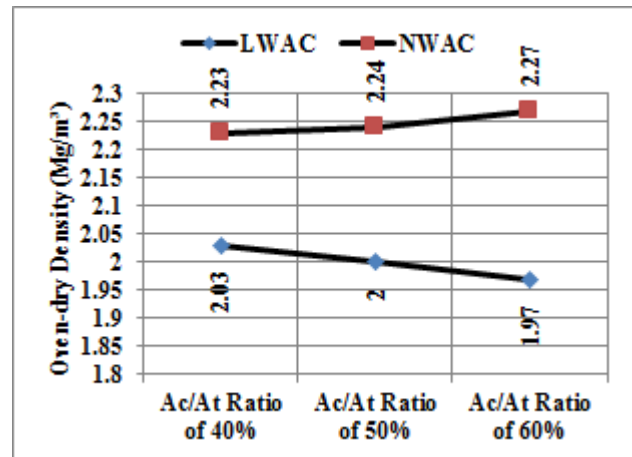


Figure 6. Oven-dry densities of LWAC and NWAC.

The density of the concrete increases when the bulk cement paste and ITZ get stiffer. The density of the concrete also increases when the particle density of aggregate used in concrete gets higher. The particle density of normal-weight aggregates is very high. In this context, lightweight aggregates are advantageous for reducing the density of concrete. The particle density of the scoria aggregate used in this study is 1.82 Mg/m³ and the gravel aggregate's particle density is 2.58 Mg/m³. Thus, oven-dry density of LWAC is less than the oven-dry density of NWAC.

Since the particle density of the scoria aggregate used as coarse aggregate is also less than the particle density (2.54 Mg/m³) of the river sand used as fine aggregate, with a higher Ac/At ratio it was possible to produce LWAC that has a lower oven-dry density value. Since the particle density of the gravel aggregate is more than the particle density of the river sand, with a higher Ac/At ratio it was possible to produce NWAC that has a higher oven-dry density value. Thus, the difference between the oven-dry density values of LWAC and NWAC is found to be increased when the Ac/At ratios of them get increased.

Conclusions

In this experimental study, the size of CH crystals in ITZ of LWAC was found to be 8.43% less than (on average) the size of CH crystals in ITZ of NWAC. The differences in the sizes of CH crystals in ITZ of LWAC and NWAC are considered to arise from the differences in the chemical contents of the aggregates used for the production of them. Scoria aggregate particles that were used in LWAC have a rich silica and alumina content. The large CH crystals formed in ITZ at the beginning of the hydration process are considered to become smaller by slow chemical reactions between scoria aggregate particles and CH crystals. Smaller CH crystals mean stiffer ITZ microstructure, and are beneficial from mechanical, physical and durability points of view.

Compressive strength of LWAC was found to be 39.09% more than (on average) the compressive strength of NWAC. The differences in compressive strength values of LWAC and NWAC are considered to arise from the

differences in strengths of ITZs and strengths of physical bonds between ITZ and aggregate particles. Scoria aggregate particles that were used in LWAC are considered to make more contribution to ITZ strength. Besides, angular shaped and rough surface textured scoria aggregate particles provides a much stronger bond with ITZ than the round shaped and smooth surface textured gravel aggregate particles.

Oven-dry density of LWAC was found to be 10.97% less than (on average) the oven-dry density of NWAC. The differences in oven-dry density values of LWAC and NWAC are considered to arise from the differences in particle densities of aggregates used for the production of them. The particle density of the scoria aggregate that was used in LWAC is less than the particle density of gravel aggregate that was used in NWAC. In this context, scoria aggregate particles are considered to make an important contribution in reducing the density of concrete.

The findings of this study show that lightweight aggregate that has high particle density, angular shape, rough surface texture, and a structure that enables chemical reaction with CH crystals will be beneficial for the ITZ microstructure and properties of concrete. It is considered that these properties should be taken into consideration in the selection of lightweight aggregate for structural concrete production.

Ethics committee approval and conflict of interest statement

There is no need to obtain permission from the ethics committee for this article prepared.

There is no conflict of interest with any person in this article prepared. All authors declare that they have no conflict of interest.

Authors' Contributions

All authors contributed equally.

References

- [1] P. K. Mehta and P. J. M. Monteiro, *Concrete - Microstructure, Properties, and Materials*. Third ed., New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2006.
- [2] E. Gallucci and K. Scrivener, "Crystallisation of calcium hydroxide in early age model and ordinary cementitious systems," *Cem. Concr. Res.*, vol. 37, pp. 492-501, 2007.
- [3] H. Gönül, "Bazalt skoriasının taşıyıcı yarı hafif beton üretiminde kullanımı / Use of basaltic scoria for produce of semi lightweight concrete," Ph.D. dissertation, Dept. of Architecture, Gazi Univ., Ankara, 2008.
- [4] M. Ayhan, H. Gönül, İ. A. Gönül, and A. Karakuş, "Effect of basic pumice on morphologic properties of interfacial transition zone in load-bearing lightweight / semi-lightweight concretes," *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, pp. 2507-2518, 2011.
- [5] V. Nežerka, P. Bílý, V. Hrbek, and J. Fládr, "Impact of silica fume, fly ash, and metakaolin on the thickness and strength of the ITZ in concrete," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 103, pp. 252-262, 2019.
- [6] J. Skalny, J. Gebauer, and I. Odler, eds., *Materials Science of Concrete: Calcium Hydroxide in Concrete*. Westerville, USA: The American Ceramic Society, 2001.
- [7] C. Carde and R. François, "Effect of the leaching of calcium hydroxide from cement paste on the mechanical and physical properties," *Cem. Concr. Res.*, vol. 27, pp. 539-550, 1997.
- [8] N. Hernandez, J. Lizarazo-Marriaga, and M. A. Rivas, "Petrographic characterization of Portlandite crystal sizes in cement pastes affected by different hydration environments," *Constr. Build. Mater.*, vol. 182, pp. 541-549, 2018.
- [9] T. Sacki and P. J. M. Monteiro, "A model to predict the amount of calcium hydroxide in concrete containing mineral admixtures," *Cem. Concr. Res.*, vol. 35, pp. 1914-1921, 2005.
- [10] J. Marchand, D. P. Bentz, E. Samson, and Y. Maltais, "Influence of calcium hydroxide dissolution on the transport properties of hydrated cement systems," in *Materials Science of Concrete: Calcium Hydroxide in Concrete*, J. Skalny, J. Gebauer, and I. Odler, eds., Westerville, USA: The American Ceramic Society, 2001, pp. 113-129.
- [11] Z. Yan-Rong, K. Xiang-Ming, L. Zi-Chen, L. Zhen-Bao, Z. Qing, D. Bi-Qin, and X. Feng, "Influence of triethanolamine on the hydration product of portlandite in cement paste and the mechanism," *Cem. Concr. Res.*, vol. 87, pp. 64-76, 2016.
- [12] T. Müller, C. Krämer, C. Pritzel, R. Bornemann, T. L. Kowald, R. H. F. Trettin, and P. H. Bolívar, "Influence of cocamidopropyl betaine on the formation and carbonation of portlandite – A microscopy study," *Constr. Build. Mater.*, vol. 163, pp. 793-797, 2018.
- [13] W. Kunther, S. Ferreira, and J. Skibsted, "Influence of the Ca/Si ratio on the compressive strength of cementitious calcium-silicate-hydrate binders," *J. Mater. Chem. A*, vol. 5, pp. 17401-17412, 2017.
- [14] S. Diamond, "The microstructure of cement paste and concrete—a visual primer," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 26, pp. 919-933, 2004.
- [15] K. Wu, H. Shi, L. Xu, G. Ye, and D. G. Schutter, "Microstructural characterization of ITZ in blended cement concretes and its relation to transport properties," *Cem. Concr. Res.*, vol. 79, pp. 243-256, 2016.
- [16] J. S. Belkowitz and D. Armentrout, "An investigation of nano silica in the cement hydration process," presented at the *Concrete Sustainability Conference*, USA, 2010.

- [17] Q. Ye, Z. Zhang, D. Kong, and R. Chen, "Influence of nano-SiO₂ addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume," *Constr. Build. Mater.*, vol. 21, pp. 539-545, 2007.
- [18] J. J. Thomas and H. Jennings, "Materials of cement science primer: The science of concrete," Northwestern University Infrastructure Technology Institute, USA, Rep. Project A474, 2009.
- [19] T. Slamečka and F. Škvára, "The effect of water ratio on microstructure and composition of the hydration products of Portland cement pastes," *Ceram. Silik.*, vol. 46, no. 4, pp. 152-158, 2002.
- [20] M. Alexander and S. Mindess, *Aggregates in concrete*. New York, NY, USA: Taylor & Francis, 2005.
- [21] A. A. Samson, "Utilization of scoria as aggregate in lightweight concrete," *Int. J. Eng. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 34-37, 2017.
- [22] T. J. Gomes, "Structural lightweight concrete produced with volcanic scoria from São Miguel Island," Instituto Superior Técnico, 2015.
- [23] I. Lau, S. Setunge, and N. Gamage, "Properties of concrete using scoria lightweight aggregate concrete," in *23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials*, Lismore, Australia, 9-12 December 2014, pp. 95-100.
- [24] A. Kılıç, C. D. Atiş, A. Teymen, O. Karahan, and K. Arı, "The effects of scoria and pumice aggregates on the strengths and unit weights of lightweight concrete," *Sci. Res. Essays*, vol. 4, no. 10, pp. 961-965, 2009.
- [25] K. M. A. Hossain, "Blended cement and lightweight concrete using scoria: mix design, strength, durability and heat insulation characteristics," *Int. J. Phys. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 5-16, 2006.
- [26] A. Kılıç, C. D. Atiş, E. Yaşar, and F. Özcan, "High-strength lightweight concrete made with scoria aggregate containing mineral admixtures," *Cem. Concr. Res.*, vol. 33, pp. 1595-1599, 2003.
- [27] E. Yaşar, C. D. Atiş, A. Kılıç, and H. Gülsen, "Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash," *Mater. Lett.*, vol. 57, pp. 2267-2270, 2003.
- [28] M. R. Moufti, A. A. Sabtan, O. R. El-Mahdy, and W. M. Shehata, "Assessment of the industrial utilization of scoria materials in Central Harrat Rahat, Saudi Arabia," *Eng. Geol.*, vol. 57, pp. 155-162, 2000.
- [29] The European Union, "Properties of LWAC made with natural lightweight aggregates," Eurolightcon BE96-3942/R17, pp. 8-35, 2000.
- [30] Testing hardened concrete - Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds, TS EN 12390-1, 2002.
- [31] Testing hardened concrete - Part 2: Making and curing specimens for strength tests, TS EN 12390-2, 2002.
- [32] Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens, TS EN 12390-3, 2003.
- [33] Testing hardened concrete - Part 4: Compressive strength - Specification for testing machines, TS EN 12390-4, 2002.
- [34] Testing hardened concrete - Part 7: Density of hardened concrete, TS EN 12390-7, 2002.
- [35] P. C. Aitcin, "Portland cement," in *Science and Technology of Concrete Admixtures*, P. C. Aitcin and R. J. Flatt, eds., UK: Woodhead Publishing, 2016, pp. 27-53.
- [36] M. A. Caldarone, *High-strength concrete: A Practical Guide*. New York, NY, USA: Taylor & Francis, 2009.
- [37] Lightweight aggregates - Part 1: Lightweight aggregates for concrete, mortar and grout, TS 1114 EN 13055-1, 2004.
- [38] L. Gündüz and İ. Uğur, "The effects of different fine and coarse pumice aggregate / cement ratios on the structural concrete properties without using any admixtures," *Cem. Concr. Res.*, vol. 35, pp. 1859-1864, 2005.



Türbülans Yoğunluğunun Geçiş Yer Tahminine Etkisinin Bölgesel Korelasyon Geçiş Modeli ile İncelenmesi

Effect of Turbulence Intensity on Transition Location Estimation Using Local Correlation Transition Model

Hediye Atik^{1*}

¹ Atılım Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, hediye.atik@atilim.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5858-9132

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 21 Temmuz 2022
Revizyon 17 Ağustos 2022
Kabul 18 Ağustos 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

Türbülans yoğunluğu, türbülans geçiş modeli, 6:1 küresel geometri, türbülans geçiş yer tahmini

ÖZ

Aerodinamik katsayılar hava/deniz araçlarının uçuş performans analizlerinde kullanılan en önemli katsayılardır. Serbest akış türbülans yoğunluğu, sayısal akışkanlar dinamiği analizleri ve rüzgar tüneli testleri ile elde edilen aerodinamik katsayılar üzerinde kayda değer etkiye sahiptir. Bu çalışmada, serbest akış türbülans yoğunluğunun küresel geometri üzerindeki türbülans geçiş yerine etkisi en yaygın kullanılan bölgesel korelasyon geçiş modeli ile analiz edilerek incelenmiştir. Analizler 6.5×10^6 Reynolds sayısında, 0 ve 5 derece olmak üzere iki farklı hücum açısında gerçekleştirilmiştir. 5 derece hücum açısında yapılan analiz sonuçları halihazırda mevcut deneysel çalışma ile karşılaştırılmıştır. Serbest akış yoğunluğunun etkisi, aksel ve normal kuvvet katsayıları ile yüzey sürtünme katsayısı dağılımı üzerinden değerlendirilmiştir. Aksel ve normal kuvvet katsayıları incelendiğinde serbest akış türbülans yoğunluğunun artmasıyla katsayıların arttığı gözlemlenmiştir. Çalışmada ele alınan türbülans yoğunluğu aralığı içerisinde, katsayılar arasında oluşan farkların uçuş performans analizlerinde kayda değer fark yaratabileceği değerlendirilmiştir. Yüzey sürtünme katsayıları değerlendirildiğinde, geçiş modeli serbest akış türbülans yoğunluğunun artmasıyla geçiş yerini beklenildiği gibi daha önde tahmin etmiştir. Fakat model üzerindeki geçiş bölgesi geometrisini deneysel sonuçlara göre oldukça farklı bulduğu görülmüştür.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 21 July 2022
Received in revised form 17 August 2022
Accepted 18 August 2022
[Available online 30 September 2022](#)

Keywords:

Turbulence intensity, transition model, 6:1 spheroid geometry, transition location estimation

ABSTRACT

Aerodynamic parameters are among the most important parameters in flight performance analyses of air/sea vehicles. Free stream turbulence intensity has significant importance on aerodynamic parameters obtained with computational fluid dynamic analyses and wind tunnel tests measurements. In this study, the effect of free stream turbulence intensity on the transition locations of spheroid geometry analyzed with the widely accepted local correlation transition model is investigated. The computations are performed at 6.5×10^6 Reynolds number with 0 and 5 degree angle of attacks. The computations at 5 degree angle of attack are compared with an available experimental study. The effect of free stream turbulence intensity is investigated with axial force coefficient, normal force coefficient, and surface friction coefficient distributions. It is seen that axial and normal force coefficients increase with increasing free stream turbulence intensity. The differences in force coefficients obtained with the free stream intensity range used in the study shall create noteworthy effects in flight performance analyses. When surface friction coefficients are investigated, the transition model estimates the transition locations earlier while free stream turbulence intensity increases as expected. However, the transition front geometry is obtained significantly different with respect to the experimental results.

Doi: 10.24012/dumf.1146580

* Sorumlu Yazar

Giriş

Test odası serbest akış türbülans parametreleri, aerodinamik davranışların belirlenmesine yönelik yapılan rüzgar tüneli testlerinde elde edilen ölçüm sonuçlarını etkilemesi sebebiyle önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu etki, düz plaka ile farklı türbülans yoğunlukları için türbülans geçiş Reynolds sayısının belirlendiği testlerle kanıtlanmıştır [1, 2]. Birçok farklı çalışmada, serbest akış türbülans artışının sınır tabaka kalınlığının artmasıyla birlikte duvar kayma gerilmesinde (İng. wall shear stress) artışa sebep olduğu gösterilmiştir [3-5]. Bu sonuçlar, farklı rüzgar tünellerinde yapılan testlerde, test odası türbülans parametrelerine bağlı olarak farklı sürüklenme kuvvet katsayısı ölçümü elde edilebileceğini göstermektedir.

Sayısal analizlerde türbülans parametreleri analiz yapılan hacmin yüzeyleri üzerinde tanımlanarak hacim içerisinde çözümlenmektedir. Bu sebeple, akış içerisinde bulunan aerodinamik geometri yakınındaki türbülans parametrelerinin gerçeğe yakın elde edilmesinde analiz hacminin büyüklüğüne uygun sınır koşullarının tanımlanması önemli olmaktadır. Türbülans modellerinin kullanılmadığı doğrudan sayısal simülasyon (İng. Direct Numerical Simulation (DNS)) metodu, karışık akış olaylarının tahmininde akla gelen ilk yöntemlerdendir. Fakat bu yöntem akış içerisindeki tüm türbülans yapılarını ve hareketini hesaplayarak elde ettiğinden Reynolds sayısına bağlı olarak oldukça küçük çözüm ağı elemanına ve zaman adımına ihtiyaç duymaktadır. Diğer bir metod ise büyük girdap simülasyon (İng. Large Eddy Simulation (LES)) yöntemidir. Bu yöntemde büyük girdaplar çözümlenirken, küçük olanlar modellenmektedir. Duvar yakınında yine DNS metodu kullanıldığından çözümleme bütçesi açısından pahalı yöntemlerden biridir. Bu sebeple, günümüz mühendislik uygulamalarında DNS ve LES metodları halen hesaplama bütçesi açısından yaygın kullanılabilen metodlar değildir. Karışık geometriler etrafındaki akış problemleri türbülans modeliyle tamamlanmış Reynolds-ortalama Navier-Stokes (RANS) denklemleri ile çözümlenmektedir. RANS analizlerinde akış tamamıyla türbülanslı kabul edildiğinden bu yöntemde laminar-türbülans geçişini doğru bir şekilde tahmin etmek mümkün değildir. Bu simülasyonlara örnek olarak Eca ve Hoestra'nın [6] düz plaka üzerinde farklı türbülans modelleri kullanarak yaptıkları akış çözümlenmeleri verilebilir.

Laminar-türbülans geçiş olayını tahmin etmek üzere matematiksel modeller üzerinde sayısız çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların etütlerinin yapıldığı derleme makalelerinde [8-10] geçiş modellerinin yaklaşımları hakkında bilgiler verilmiştir. Bu modeller arasında Menter vd. [10] ve Langtry ve Menter [11] tarafından geliştirilen, bölgesel korelasyon geçiş modeli olarak adlandırılan modelin en yaygın kullanılan model olduğu görülmektedir [12, 13]. γ - Re_{θ} geçiş modeli olarak adlandırılan model, geçiş başlangıç kriteri olarak kullanılan bölgesel geçiş Reynolds momentum kalınlık ve aralıklılık (İng. intermittency) parametreleri için taşınım denklemlerini çözmektedir [11]. Bu geçiş modeli yaygın olarak kullanılan iki denklemlilik shear stress transport (SST) k - ω türbülans modeli [14] ile birleştirilerek akış ayrılması, basınç gradyanı ve serbest akış türbülans yoğunluğundan kaynaklı laminar-türbülans geçişinin olduğu akış tahminlerinde kullanılmaktadır [11]. γ - Re_{θ} geçiş modeli

günümüzde birçok araştırma ve ticari hesaplamalı sayısal analiz yazılımlarında kullanılmış ve entegrasyon, geliştirme ve performans başarımları farklı sınaama durumları kullanılarak gösterilmiştir. Lopes vd. [15] ReFRESKO yazılımını [16] kullanarak γ - Re_{θ} geçiş modelinin taşınım denklemlerinde kullanılan farklı ayırıklaştırma şemalarının etkisini NACA 0012 airfoil, Eppler 387 airfoil ve 6:1 küresel geometri kullanılarak göstermiştir. Çalışma, geçiş modeli kullanıldığında türbülans kinetik enerji (k) ve özgül yayılım oranı (ω) parametrelerinin çözümünde birinci-derece akış yönünde (İng. upwind) ayırıklaştırma şeması kullanımının çözümleme doğruluğu üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Alman Havacılık Merkezi (DLR) tarafından geliştirilen sıkıştırılabilir RANS çözücüsü olan TAU yazılımında türbülans geçiş tahmini için farklı geçiş modelleri bulunmaktadır. TAU yazılımında da orijinal γ - Re_{θ} geçiş modeli yine SST k - ω türbülans modeli ile birlikte kullanılmaktadır. Bu model ile farklı geometrik konfigürasyonlar etrafındaki akış analizleri yapılarak sonuçları e^N metodu ile karşılaştırılmıştır [17-19]. Rumsey vd. [20] SST k - ω türbülans modeli ile entegre edilen γ - Re_{θ} geçiş modelinin başarımını NASA'nın FUN3D ve CFL3D yazılımları kullanılarak NASA yamuk kanat sınaama modeli ile gerçekleştirmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmasını yapmıştır. Çalışma, sayısal analizlerde yakınsama güçlükleriyle karşılaşılsa da sonuçların geçiş modeli kullanılmadığı duruma göre deneysel sonuçlara daha yakın çıktığını ortaya koymuştur [20]. Atik [21] çalışmasında γ - Re_{θ} geçiş modelini, ticari bir yazılım olan ANSYS Fluent yazılımı kullanarak 6:1 küresel sınaama geometrisi üzerindeki türbülans geçiş tahmini değerlendirmesinde kullanmıştır. Üç farklı çözüm ağı kullanılarak sürüklenme katsayısı ve türbülans geçiş yeri tahmininde, ayırıklaştırmadan kaynaklı belirsizlik bandı tespiti yapılmıştır. Çalışma, geçiş modeli kullanıldığı durumda hem sürüklenme kuvveti katsayısında, hem de geçiş yeri etrafında daha büyük belirsizlik bandı hesaplamıştır. Ayrıca geçiş modeli ile tahmin edilen sürüklenme katsayısının model kullanılmadığı durumda elde edilen analiz sonucuna göre yarıya düştüğü tespit edilmiştir. Türbülans geçiş yerini gösteren yüzey sürtünme katsayı dağılımı halihazırda mevcut deneysel sonuçlar ile karşılaştırıldığında, geçiş yeri geometrisinin geometri yüzeyi üzerinde deneysel sonuçlara göre oldukça farklı olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmada test odası içerisinde gözlemlenen türbülans yoğunluğu %0.1 ila %0.3 aralığında verilmiş, sayısal çalışmada türbülans parametreleri için sınır koşulları, geometri burnunun önünde %0.15 türbülans yoğunluk değeri oluşturacak şekilde tanımlanmıştır. Çalışmanın sonuçları arasında, türbülans geçiş olayında serbest akış türbülans yoğunluğunun önemli olması ve bu sebeple parametrenin geçiş yer geometrisi üzerindeki etkisinin incelenmesi tavsiye edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, γ - Re_{θ} geçiş modelinin serbest akış türbülans yoğunluğuna hassasiyetinin belirlenmesidir. 6:1 küresel geometri etrafındaki akış 6.5×10^6 Reynolds sayısında %0.1 ila %0.3 farklı türbülans yoğunlukları için analiz edilmiştir. Sürüklenme kuvvet katsayısı, yüzey sürtünme katsayısı, 0 ve 5 derece hücum açıları için değerlendirilmiştir. 5 derece hücum açısı durumu için elde edilen sonuçlar hali hazırda mevcut deneysel yüzey sürtünme katsayısı karşılaştırmalarında kullanılmıştır.

Yöntem

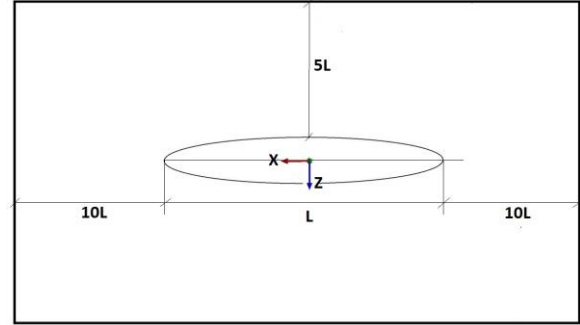
Bu çalışmada yapılan tüm hesaplamalar sonlu hacim metodu kullanan ANSYS Fluent yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Yazılım karışık geometriler etrafındaki sıkıştırılabilir ve sıkıştırılmaz akış problemlerini çözmektedir. Fluent yazılımı akışmazsız, laminar ve türbülanslı akışları çözebilme kabiliyetine sahiptir. Ayrıca yazılımda laminar-türbülans geçiş tahminleri için γ , $\gamma-Re_\theta$ ve $k-k\ell-\omega$ modelleri bulunmaktadır. Yazılım basınç veya yoğunluk tabanlı çözücü seçimine izin vermektedir. Bu çalışmada basınç tabanlı birleşik algoritma kullanılmıştır. Basınç için ikinci dereceden ayrıklaştırma metodu seçilirken, momentum, türbülans kinetik enerji, özgül dağılım oranı, aralıklılık ve Reynolds momentum kalınlık parametreleri için ikinci derece akış yönünde (İng. upwind) ayrıklaştırma şeması kullanılmıştır. Parametrelerin değişim ve türevlerinin hesaplanmasında hücreye dayalı en küçük kare (İng. least square cell based) metodu kullanılmıştır. Tüm analizler zamandan bağımsız gerçekleştirilmiştir.

Küresel geometrinin aksel simetrik olması ve kullanılan akış koşulları için akışın dikey düzlemde simetrisi olması sebebiyle geometrinin yarısı analizlerde kullanılmıştır. Geometri üzerinde üçgen elemanlar, yüzey çözüm ağı üzerine sınır tabakayı içerisine alan prizmatik çözüm ağı ve sınır yüzeylerle prizmatik elemanlar arasında ise düzensiz çözüm ağı kullanılmıştır. Langtry ve Menter [11] $\gamma-Re_\theta$ geçiş modeli kullanıcılarına, duvar üzerine yaklaşık 1.1 oranında genişleme oranı kullanmasını ve en büyük y^+ değerinin ise en fazla 1 civarında olmasını önermiştir. Bu çalışmada 1.1 genişleme oranı ve yüzey y^+ değerlerinin 0.3'ten küçük olduğu, Ref. [21]'de kullanılan düzey-2 çözüm ağına karşılık gelen çözüm ağı kullanılmıştır. Atik [21] çalışmasında bu çözüm ağından kaynaklı ayrıklaştırma hatalarını göstermiştir.

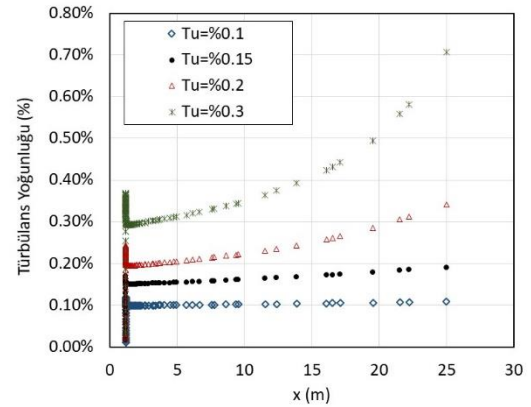
Laminar-türbülans geçiş yeri serbest akış türbülans parametrelerine kuvvetli bir şekilde bağlıdır. Birçok çalışmada [3-5] sınır tabaka kalınlığı ve bölgesel duvar kayma gerilmelerinin serbest akış türbülans seviyesinin artmasıyla arttığı gösterilmiştir. Meier vd. [22] 6:1 küresel geometri ile üç farklı rüzgar tüneline benzer Reynolds sayısında yaptıkları testlerde laminar-türbülans geçişinin farklı yerlerde olduğunu göstermişlerdir. Bu çalışmada, en yaygın kullanılan $\gamma-Re_\theta$ geçiş modelinin farklı serbest akış türbülans yoğunlukları için geçiş yeri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Serbest akış türbülans yoğunluğunun etkisini gözlemlemek amacıyla geometri burnunda farklı türbülans yoğunluklarının elde edilmesi amaçlanmıştır. Kullanılan çözüm hacminin büyüklüğü ve eksen takımı şematik olarak Şekil 1'de verilmiştir. Sınır yüzeylerin geometriye uzaklıklarına uygun olarak sınır koşulu olarak kullanılan türbülans yoğunluk ve türbülans akışmazlık oranları Tablo 1'de verildiği gibi belirlenerek burnun önünde %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.3 türbülans yoğunlukları elde edilmiştir (bkz. Şekil 2). Geometri etrafında elde edilen türbülans yoğunlukları kullanılan türbülans modeline göre değişim gösterse de burun bölgesinde elde edilen türbülans yoğunluk aralığı karşılaştırma yapılacak deneysel sonuçların elde edildiği testler sırasında, test odası içerisinde gözlemlenen türbülans yoğunluğu aralığına karşılık gelmektedir.

Tablo 1. Türbülans parametreleri giriş sınır koşulları ve burun önü türbülans yoğunluğu.

Türbülans yoğunluğu	Türbülans akışmazlık oranı	Burun türbülans yoğunluğu
%0.11	50	%0.1
%0.2	50	%0.15
%0.4	50	%0.2
%1.0	100	%0.3



Şekil 1. Simetri düzleminde analiz hacim boyutlarının şematik gösterimi.

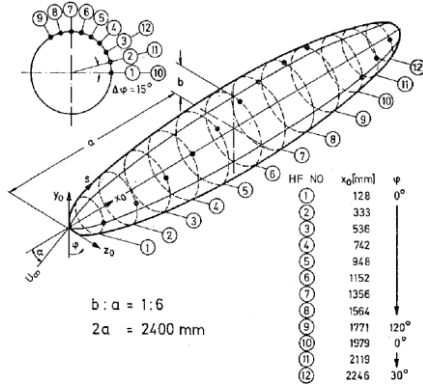


Şekil 2. Türbülans yoğunluğunun giriş sınırından (sol) geometri burnuna (sağ) doğru değişimi.

Analizlerde süreklilik denklemi için yakınsama kriteri 10^{-6} tanımlanmış ve analizlerde bu kriter elde edilirken aerodinamik kuvvet ve moment katsayılarında yakınsama olduğu gözlemlenmiştir. Türbülans kinetik enerji (k) hariç diğer tüm parametreler için artık değerler 10^{-6} değerinin çok altında gerçekleşmiştir.

Analizler 6.5×10^6 Reynolds sayısında 0 ve 5 derece hücum açılarında gerçekleştirilmiştir. 5 derece hücum açısında yapılan analiz sonuçları Kreplin vd. [23] tarafından 3 m x 3 m kesitinde test odasına sahip düşük hızlı rüzgar tüneline test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada test odası içerisinde Reynolds sayısı ile türbülans yoğunluğunu %0.1 ila %0.3 arasında değiştiği belirtilmiştir. Testlerde duvar kayma gerilmeleri 12 farklı aksel pozisyona yerleştirilen sıcak-film ölçeri ile elde edilmiştir (bkz. Şekil 3). Model eksen etrafında döndürülerek -5 ila 185 derece çevresel açı aralığında ölçümler alınmıştır. Deneysel çalışmada farklı

eksenel pozisyonlar için hem ölçüm aralıkları hem de ölçüm sayısı farklı olduğundan düzenli veri seti bulunmamaktadır. Sayısal çözümlerinin benzer noktalarda karşılaştırmasının yapılması için hem deneysel veri, hem de analiz sonuçları üçüncü dereceden iç kestirimle 1'er derece çevresel açı aralığı kullanılarak düzenli hale getirilmiştir.



Şekil 3. Sıcak film ölçerlerinin test modeli üzerindeki yerleşimi [23].

Analiz Sonuçlarının Değerlendirmesi

6.5×10^6 Reynolds sayısı koşulları [23] 0 ve 5 derece hücum açıları için analiz edilmiştir. 0 derece hücum açısı için elde edilen eksenel kuvvet katsayısı Tablo 2'de verilmiştir. Geometri eksenel simetriye sahip olması sebebiyle beklenildiği gibi normal kuvvet katsayısı çok küçük çıkmış bu sebeple Tablo 2'ye dahil edilmemiştir. Tablo 3'te eksenel ve normal kuvvet katsayısı 5 derece hücum açısı için sunulmuştur.

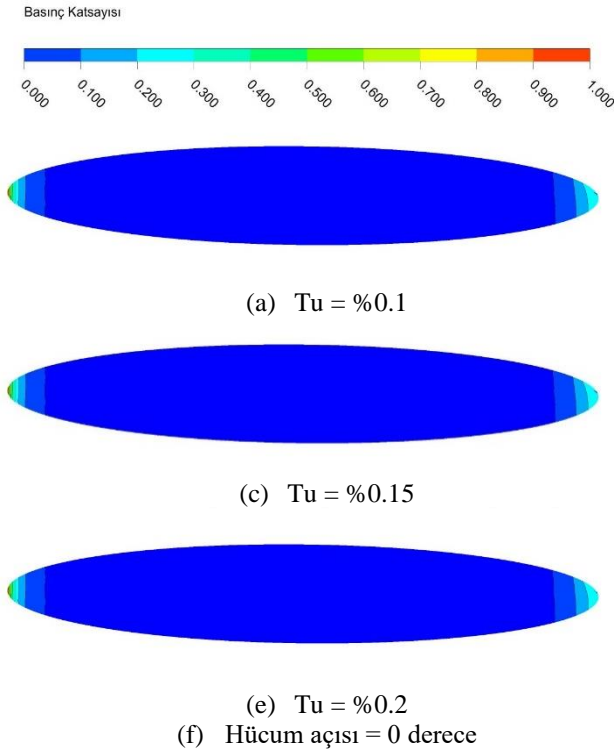
Tablodaki değerler incelendiğinde türbülans yoğunluğunun artması ile katsayılar artış gözlemlenmektedir. En küçük türbülans yoğunluğu için elde edilen eksenel kuvvet katsayısı düşünüldüğünde 0 derece hücum açısı için %0.3 türbülans yoğunluğunda %25, 5 derece hücum açısında ise %17 oranında bir artış gözlemlenmektedir. 5 derece hücum açısında normal kuvvet katsayısında ise %15 oranında artış olmuştur. Aerodinamik parametrelerin hava/su araçlarının performans analizlerinde kullanıldığı gözönüne alındığında bu farkların sonuçlarda önemli değişiklik yaratabileceği görülmektedir.

Tablo 2. Eksenel kuvvet katsayısı, 0 derece hücum açısı.

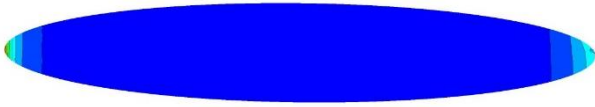
Burun türbülans yoğunluğu	Eksenel Kuvvet Katsayısı
%0.1	-3.584×10^{-4}
%0.15	-3.872×10^{-4}
%0.2	-4.104×10^{-4}
%0.3	-4.473×10^{-4}

Tablo 3. Eksenel ve normal kuvvet katsayısı, 5 derece hücum açısı.

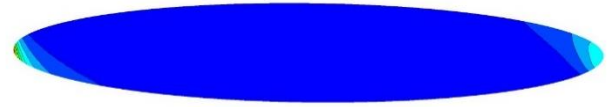
Burun türbülans yoğunluğu	Eksenel Kuvvet Katsayısı	Normal Kuvvet Katsayısı
%0.1	-3.159×10^{-4}	-2.114×10^{-4}
%0.15	-3.321×10^{-4}	-2.176×10^{-4}
%0.2	-3.444×10^{-4}	-2.258×10^{-4}
%0.3	-3.691×10^{-4}	-2.420×10^{-4}



Şekil 4. Farklı türbülans yoğunlukları için yüzey basınç katsayısı dağılımı.

(g) $Tu = \%0.3$

Hücum açısı = 0 derece

(i) $Tu = \%0.3$

Hücum açısı = 5 derece

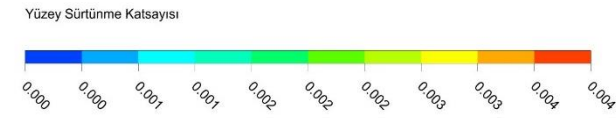
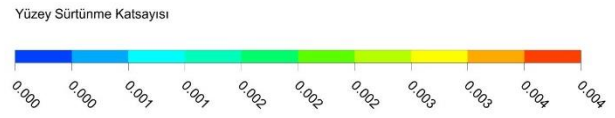
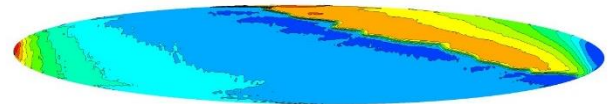
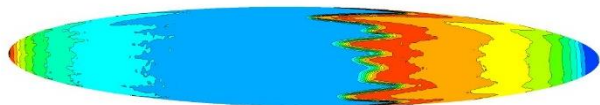
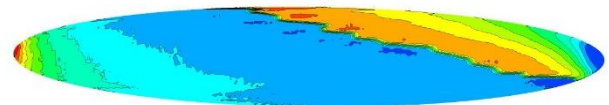
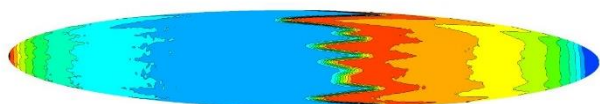
Şekil 4 (devamı). Farklı türbülans yoğunlukları için yüzey basınç katsayı dağılımı.

Küresel geometri üzerinde oluşan basınç ve sürtünme katsayı dağılımları her iki hücum açısı için sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Geometri burnu önünde türbülans yoğunluğunun değişimi yüzey basınç katsayılarında önemli bir fark yaratmamaktadır. Şekil 4'de verilen dağılımlarda belirgin görülmesine de grafiksel incelendiğinde geometrinin kık tarafında küçük farklar dışında benzer değerlerin olduğu görülmüştür.

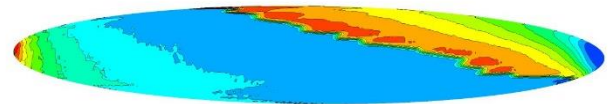
Şekil 5'te verilen yüzey sürtünme katsayıları incelendiğinde farkların daha belirgin olduğu görülmektedir. Her iki hücum açısında da türbülans yoğunluğu arttıkça geçiş yerinin işaretçisi olan büyük değişimlerin öne doğru kaydığı

görülmektedir. Bu durum Meier vd. [22] deneysel sonuçlar kullanılarak yaptıkları tespitlerle paralellik gösterse de 0 derece hücum açısında türbülans geçişinin farklı çevresel açılar için eksen boyunca değiştiği gözlemlenmektedir.

5 derece hücum açısı için elde edilen yüzey sürtünme katsayıları hali hazırda mevcut deneysel sonuçlarla [23] Şekil 6'da karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar akışın geldiği basınç tarafında türbülans geçişinin burundan yaklaşık %50 boy mesafesinde olduğunu ve çevresel açının geometrinin üst tarafına doğru artmasıyla geçişin yaklaşık boyun %40'ına buruna doğru hareket ettiği görülmektedir.

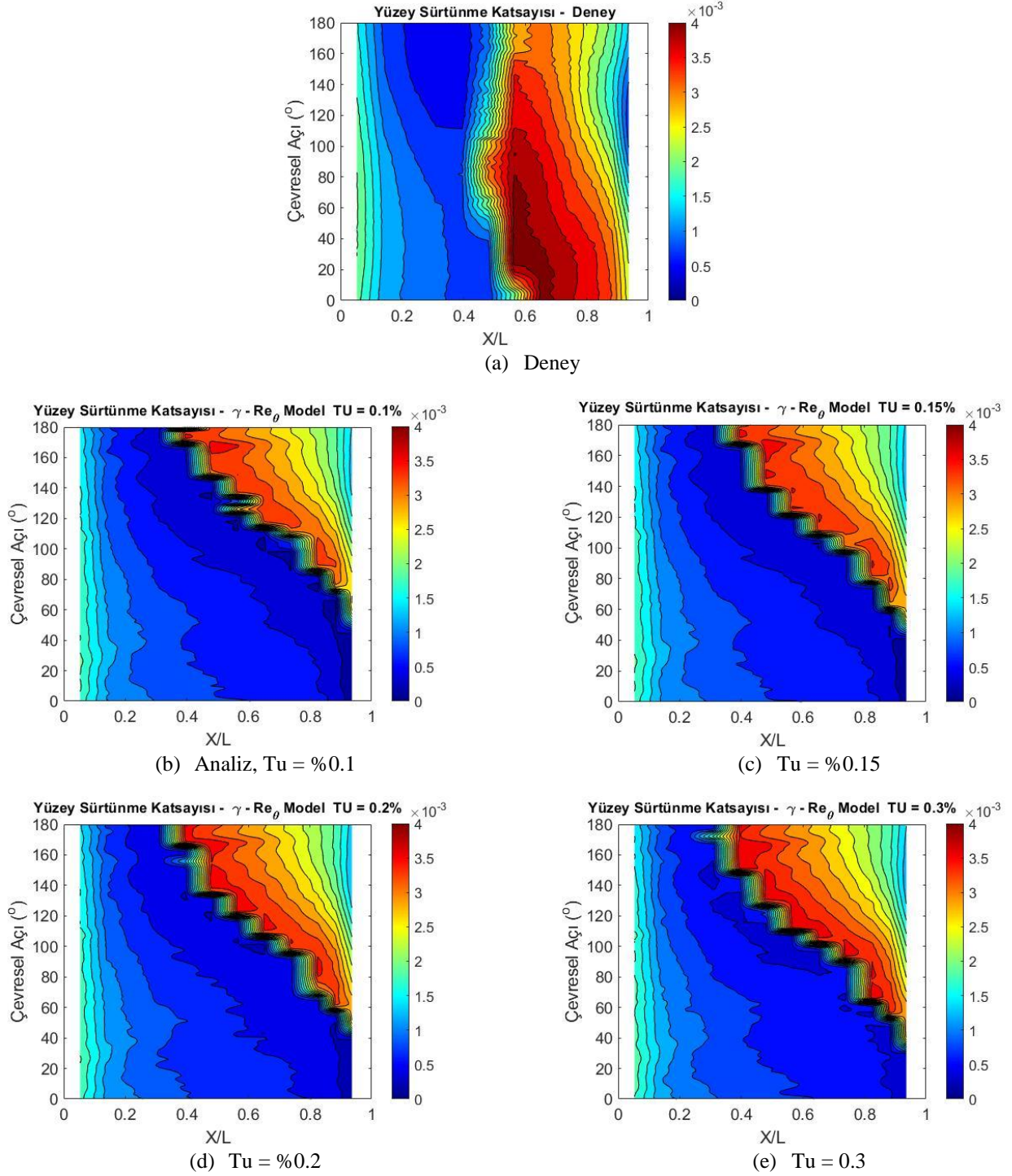
(a) $Tu = \%0.1$ (b) $Tu = \%0.1$ (c) $Tu = \%0.15$ (d) $Tu = \%0.15$ (e) $Tu = \%0.2$ (f) $Tu = \%0.2$ (g) $Tu = \%0.3$

Hücum açısı = 0 derece

(h) $Tu = \%0.3$

Hücum açısı = 5 derece

Şekil 5. Farklı türbülans yoğunlukları için yüzey sürtünme katsayı dağılımı.



Şekil 6. 5 derece hücum açısı için yüzey sürtünme katsayısı dağılımının deney sonuçları ile karşılaştırılması.

Analiz sonuçlarında gövdenin üst tarafında deneysel sonuçlara benzer şekilde türbülans geçişinin oluştuğu görülürken çevresel açının azaldığı gövdenin altına doğru hareket ettikçe geçişin arkaya kaydığı görülmektedir. Hatta 40 derece çevresel açı sonrasında (geometrinin alt kısmında) türbülans geçişi görülmemektedir. Serbest akıştaki türbülans yoğunluğunun değişimi gövde üzerindeki türbülans geçiş yerini az miktarda değiştirirse de geçiş yerlerinin geometrisi deneysel sonuçlarla benzerlik göstermemektedir.

Sonuç

Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan γ - Re_θ geçiş modelinin farklı serbest akış türbülans yoğunlukları için 6:1 küresel geometri üzerindeki türbülans geçiş yerleri ile aerodinamik katsayılar da yarattığı etki incelenmiştir. Yüzey parametrelerinden basınç katsayıları farklı türbülans yoğunlukları için benzer sonuçlar verirken yüzey sürtünme katsayılarında farklar daha belirgin görülmektedir. Türbülans yoğunluğu arttıkça beklenildiği üzere geçiş yerinin geometrinin ön tarafına doğru kaydığı gözlemlenmiştir. Fakat geçiş modeli, geometri üzerindeki

geçiş yeri geometrisi düşünüldüğünde deneysel veriye göre oldukça farklı tahmin etmiştir. 0 derece hücum açısında farklı çevresel açılarda benzer geçiş yerleri beklenirken oldukça farklı bir geometri elde edilmiştir. 5 derece hücum açısındaki deneysel sonuçlardan, modelin geçiş yeri geometrisini iyi tahmin edemediği görülmektedir.

Atik [21] yaptığı çalışmada geçiş modelinin RANS analizlerine dahil edilmesiyle eksenel kuvvet katsayısında yaklaşık %50 bir düşüşe sebep olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada da ele alınan türbülans yoğunluğu aralığı içerisinde, serbest akış türbülans yoğunluğu değişiminin bu katsayıda %25 civarı değişiklik yarattığı görülmüştür. Eksenel kuvvet katsayısının hava/su araçları menzil hesabına önemli bir katkısı olduğu düşünüldüğünde serbest akış türbülans yoğunluğu parametresinin analizlerde önemli olacağı değerlendirilmektedir. Çalışma, türbülans yoğunluğunun ortalama bir değer alındığında eksenel katsayıda da ortalama bir değer elde edildiğini göstermiştir. Serbest akış türbülans yoğunluğu parametresinin gerçeğe yakın ele alınması ve bilinmediği durumlarda olabileceği tahmin edilen aralıklarda incelenerek aerodinamik katsayılarda beklenen aralıklar tespit edilmelidir. Benzer durum normal kuvvet katsayısında da görülmektedir.

Geçiş bölgesi yer tahmini aerodinamik katsayı tahminini etkilemesi sebebiyle türbülans geçiş yerinin oldukça önemli olduğu görülmektedir. γ - Re_0 geçiş modelinin geçiş yer geometrisinde deneysel sonuçlara yaklaştıracak önemli bir değişiklik yaratmaması, modelin serbest akış türbülans yoğunluğundan bağımsız modelleme hatası içerdiğini göstermektedir. Modelin türbülans geçiş fiziğini daha doğru tahmin edecek şekilde iyileştirilmesi ve iyi kurgulanmış deneysel sonuçlarla doğrulanması gerekmektedir. Türbülans geçiş model kullanıcılarının, modelleri kullanmadan önce ilgilendikleri akış durumları için farklı geçiş model sonuçlarını karşılaştırılmaları, mümkün olduğunca benzer geometri ve akış durumlarında elde edilmiş deneysel sonuçlarla başarımlarını karşılaştırmaları tavsiye edilmektedir. Örneğin Menter vd. [24] tarafından γ - Re_0 geçiş modelinin sadeleştirilmesiyle elde edilen γ geçiş modelinin benzer koşullarda kullanılarak modelin fiziğinde yapılan iyileştirmelerin kontrol edilmesi faydalı olacaktır.

Kaynaklar

- [1] G.B. Schubauer, H. K. Skramstad, "Laminar boundary layer oscillations and stability of laminar flow," National Bureau of standards, paper 1772, JAS 14, pp. 69-78, 1947.
- [2] P. E. Roach, D. H. Brierly, "The Influence of a Turbulent Free-Stream on Zero Pressure Gradient Transitional Boundary Layer Development: Part 1. Test cases T3A and T3B." ERCOFTAC Workshop, Cambridge University Press, Lausanne, Switzerland, March 1990.
- [3] G. Charnay, G. Comte-Bellot, J. Mathiew, "Development of a turbulent boundary layer on a flat plate in an external turbulent flow," AGARD CCP93, Paper No. 27, 1971.
- [4] H. U. Meier, and H. P. Kreplin, "Influence on Free-Stream Turbulence on the Boundary Layer Development," AIAA Journal, Vol. 18, No. 1, pp. 11-15, 1980. DOI: 10.2514/3.50724.
- [5] M. F. Blair, "Influence of free-stream turbulence on turbulent boundary layer heat transfer and mean profile development; Part 1 – Experimental data," Journal of Heat Transfer, Vol. 105, pp. 33-47, 1983.
- [6] L. Eca, M. Hoekstra, "The numerical friction line," Journal of Marine Science and Technology, Vol. 13, No.4, pp. 328-345, 2008. DOI: 10.1007/s00773-008-0018-1.
- [7] D. D. Pasquale, A. Rona, and S. J. Garrett, "A selective review of cfd transition models," 39th AIAA Fluid Dynamics Conference, San Antonio, Texas, AIAA Paper 2009-3812, 2009. DOI: 10.2514/6.2009-3812.
- [8] A. V. Boiko, S. V. Kirilovskiy, A. A. Maslov, and T. V. Poplavskaya, "Engineering modelling of the laminar-turbulent transition: achievements and problems (review)," Journal of Applied Mechanics and Technical Physics, Vol. 56, No. 5, pp. 761-776, 2015. DOI: 10.1134/S002189441505003X.
- [9] A. Krumbein, N. Krimmelbein, C. Grabe, and N. Shengyang, "Development and application of transition prediction techniques in an unstructured CFD code," AIAA 2015-2476, AIAA Aviation 45th AIAA Fluid Dynamics Conference, Dallas, TX, 22-26 June 2015. DOI: 10.2514/6.2015-2476.
- [10] F. R. Menter, R. B. Langtry, Y. B. Likki, Y. B. Suzen, P. G. Huang, and S. Volker, "A correlation-based transition model using local variables: part I — model formulation," Journal of Turbomachinery, 128(3), pp. 412-422, 2006. DOI: 10.1115/1.2184352.
- [11] R. B. Langtry, and F. R. Menter, "Correlation-based transition modeling for unstructured parallelized computational fluid dynamics codes," AIAA Journal, Vol. 47, No. 12, pp. 2894-2906, 2009. DOI: 10.2514/1.42362.
- [12] C. Grabe, A. Krumbein, "Evaluation of a correlation-based transition model and comparison with the e^N method," Journal of Aircraft, Vol. 49, No. 6, pp. 1765-1773, 2012. DOI: 10.2514/1.C031448.
- [13] J.G. Coder, M. D. Maughmer, "Comparisons of theoretical methods for predicting airfoil aerodynamic characteristics," Journal of Aircraft, Vol. 51, No. 1, pp. 183-191, 2014. DOI: 10.2514/1.C032232.
- [14] F. R. Menter, "Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications," AIAA Journal, Vol. 32, No. 8, pp. 1598-1605, 1994. DOI: 10.2514/3.12149.
- [15] R. Lopes, L. Eca, G. Vaz, and M. Kerkvliet, "Assessing numerical aspects of transitional flow simulations using the RANS equations," International Journal of Computational Fluid Dynamics, Vol. 135, No. 3, pp. 157-178, 2021. DOI: 10.1080/10618562.2020.1870962.

- [16] G. Vaz, F. Jaouen, and M. Hoekstra, "Free-surface viscous flow computations: validation of urans code FreSCo," 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Vol. 43451, pp. 425–437, 2009. DOI: 10.1115/OMAE2009-79398.
- [17] C. Seyfert, and A. Krumbein, "Comparison of a local correlation-based transition model with a e^N -method for transition prediction," New Results in Numerical and Experimental Fluid Mechanics VIII, Vol. 121, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 541-548, 2013. DOI: 10.1007/978-3-642-35680-3_64.
- [18] C. Seyfert, "Application of a transition transport model to industrially relevant aerodynamic configurations," ODAS 2011 – 11th ONERA-DLR Aerospace Symposium, Toulouse, France, Conference Proceedings, pp. 1-8, 8-10 February 2011.
- [19] C. Seyfert, A. Krumbein, "Evaluation of a correlation-based transition model and comparison with the e^N -method", Journal of Aircraft, Vol. 49, No. 6, pp. 1765-1773, 2012. DOI: 10.2514/1.C031448.
- [20] C. L. Rumsey, and E. M. Lee-Rausch, "NASA trapezoidal wing computations including transition and advanced turbulence modelling," Journal of Aircraft, Vol. 52, No. 2, pp. 496-509, 2015. DOI: 10.2514/1.C032754.
- [21] H. Atik, "Estimation of Discretization uncertainty using the γ - $Re\theta$ transition model for transitional flows on 6:1 spheroid", ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 144, pp. 111501-1-12, 2022. DOI: 10.1115/1.4054740.
- [22] H. U. Meier, U. Michel, and H. P. Kreplin, "The Influence of wind tunnel turbulence on the boundary layer transition," DFVLR-AVA, Report No. IB 222-86 A 39, 1986.
- [23] H. P. Kreplin, H. Vollmers, H. U. Meier, "Wall shear stress measurements on an inclined prolate spheroid in the DFVLR 3m x 3m low speed wind tunnel, Gottingen," DFVLR-AVA, Report No. IB 222-84 A 33, 1985.
- [24] Menter, F. R., Smirnov, P. E., Liu, T., Avancha, R., "A One-Equation Local Correlation-Based Transition Model," Flow, Turbulence and Combustion, 95(4), 583-619, 2015. DOI: 10.1007/s10494-015-9622-4.



Araştırma Makalesi / Research Article

Farklı Su/Bağlayıcı Oranına Sahip Betonlarda Nano Silika ve Granüle Yüksek Fırın Cürufu Kullanımının Mekanik ve Elastik Özellikler Üzerine Etkisi

The Effect of Using Nano Silica and Granulated Blast Furnace Slag on Mechanical and Elastic Properties in Concretes with Different Water/Binder Ratios

Hasan Nuri TÜRKMEÑOĞLU^{1*}, Esen ÖNDER², Hakan Nuri ATAHAN³

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye. turkmenoglu@itu.edu.tr

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4765-8590>

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye. esen.onder92@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0975-8638>

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye. atahanh@itu.edu.tr

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7917-3021>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 23 Temmuz 2022
Revizyon 4 Eylül 2022
Kabul 5 Eylül 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

nano silika, granüle yüksek fırın cürufu, basınç dayanımı, elastisite modülü, Poisson oranı

ÖZ

Yapılan çalışmada, farklı su/bağlayıcı oranına sahip üç farklı beton karışımına, ağırlıklıkça %1 oranında nano silika (NS) ve/veya ağırlıklıkça %20 oranında granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) eklenmesi ile birlikte basınç dayanımı, elastisite modülü ve Poisson oranı değerlerinde meydana gelen değişimler ve mineral katkıların, farklı su/bağlayıcı oranlarına sahip beton karışımlarının özellikleri üzerindeki etkinlikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, su/bağlayıcı oranı 0.68 olan beton grubunda NS ve/veya GYFC kullanımının beton özelliklerine olumlu bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Fakat su/bağlayıcı oranının azalması ile birlikte, mineral katkı kullanımı hem basınç dayanımı hem de elastisite modülü değerleri üzerinde belirgin iyileştirmeler sağlamıştır. Bu etki, özellikle NS ve GYFC'nin birlikte kullanıldığı karışımlarda en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Örneğin, 0.53 su/bağlayıcı oranına sahip betonlarda sadece NS veya sadece GYFC kullanımı ile referans karışıma göre basınç dayanımında elde edilen artış oranları sırasıyla %8.8 ve %7.8 iken, NS ve GYFC'nin birlikte kullanılmasıyla artış oranı %15.1 olarak elde edilmiştir. Bunlara ek olarak, Poisson oranı değerlerinin referans betonlarda su/bağlayıcı oranının azalması veya karışımda GYFC kullanılması ile birlikte azaldığı fakat karışıma NS eklenmesi ile birlikte arttığı belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, su/bağlayıcı oranının azalmasıyla ve özellikle NS kullanımı ile birlikte, betonun davranışı belirgin bir şekilde lineer-elastik davranışa yaklaşmıştır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 July 2022
Received in revised form 4 Sept. 2022
Accepted 5 Sept. 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

nano silica, ground granulated blast furnace slag, compressive strength, modulus of elasticity, Poisson's ratio

ABSTRACT

In the current study, changes in compressive strength, modulus of elasticity and Poisson's ratio with the addition of 1% (by wt.) nano silica (NS) and/or 20% (by wt.) ground granulated blast furnace slag (GGBS) to three different concrete mixtures with different water/binder ratios and the effectiveness of mineral additives on the properties of concrete mixtures with different water/binder ratios were investigated. When the results obtained were examined, it was seen that the use of NS and/or GGBS did not have a positive effect on concrete properties in the concrete group with a water/binder ratio of 0.68. However, with the decrease in the water/binder ratio, the use of mineral additives significantly improved both compressive strength and modulus of elasticity values. This effect has reached the highest level, especially for mixtures in which NS and GGBS are used together. For instance, the compressive strength increases, obtained by individual use of NS or GGBS in concrete with a water/binder ratio of 0.53 are 8.8% and 7.8%, respectively. However, this ratio was obtained as 15.1% when NS and GGBS were used together. It was determined that the Poisson's ratio values decreased with the decrease of the water/binder ratio or the addition of GGBS in the reference concretes, but increased with the addition of NS to the concrete mixture. Additionally, with the decrease of the water/binder ratio, and especially with the use of NS, the behavior of concrete has prominently approached the linear-elastic behavior.

Doi: 10.24012/dumf.1147581

* Sorumlu Yazar

Giriş

Son yıllarda nano teknolojinin gelişmesiyle birlikte, hayatımızın birçok alanında olduğu gibi yapı malzemelerinde de nano malzemelerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Yapılan araştırmalar, NS, nano alüminyum oksit, nano titanyum oksit, nano kil gibi malzemelerin çimento esaslı malzemelerde kullanımının, taze hal, dayanım ve dayanıklılık özellikleri açısından belirgin etkilerinin olduğunu göstermektedir [1]. Çimento esaslı malzemeler üzerine yapılan çalışmalarda en çok tercih edilen nano malzeme ise şüphesiz NS'dir. Bunun nedeni, NS'nin özgül yüzey alanının çok yüksek olması ve tamamen SiO₂ içermesi nedeniyle oluşturduğu yüksek çekirdeklenme etkisi ve sahip olduğu yüksek puzolanik reaktivitedir [2], [3]. Yapılan içyapı incelemeleri göstermektedir ki, hem hamur fazı içerisinde hem de agregaya ile harç arasındaki ara yüzey bölgesinde, NS kullanımı ile birlikte kalsiyum hidroksit (CH) miktarının belirgin bir şekilde azaldığı ve içyapının çok daha yoğun ve boşluksuz olduğu belirlenmiştir [4], [5]. Bu sayede, NS kullanımı basınç dayanımı, elastisite modülü, eğilme dayanımı ve yarma dayanımı gibi mekanik ve elastik özelliklerle birlikte durabilite özelliklerini de etkin bir şekilde geliştirmektedir [6], [7]. Diğer yandan, NS'nin özgül yüzey alanının çok yüksek olması taze hal özelliklerini negatif yönde etkilemektedir. Örneğin, NS kullanılan betonlarda çökme değeri veya yayılma değerleri düşerken kimyasal katkı ihtiyacı ciddi bir şekilde artmaktadır [8]. Ancak, kendiliğinden yerleşen betonlarda kullanılması durumunda ise viskoziteyi ve segregasyon direncini artırmakta ve daha az miktarda bağlayıcı kullanımı ile kendiliğinden yerleşen beton elde edilebilmesini sağlamaktadır [9], [10]. Çalışmada kullanılan diğer mineral katkı olan GYFC ise en sık kullanılan puzolanik malzemelerden birisidir. Atık bir ürün olması nedeniyle çimento esaslı malzemelerde kullanımı, ekonomik yönden ve sürdürülebilirlik açısından önem arz etmektedir [11]. Diğer yandan, çimento esaslı malzemelerde kullanıldığı zaman işlenebilirliği, mekanik özellikleri ve durabiliteyi etkin bir şekilde iyileştirmektedir [3].

NS'nin, mikro silika, uçucu kül veya GYFC gibi diğer mineral katkılar ile birlikte ikili veya üçlü kullanımları üzerine yapılan çalışmalar, NS'nin diğer mineral katkılar ile birlikte kullanımının mekanik ve durabilite özellikleri açısından, tek başına kullanımına göre çok daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir [3], [12], [13]. En az ikili mineral katkı kullanımı ile elde edilen bu durum literatürde "sinerjik etki" olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, Sharkawi ve arkadaşlarının [14] mikro silika ve NS kullanarak betonun durabilite özellikleri üzerine yaptıkları çalışmada, %10 mikro silika veya %2 NS kullanımı ile birlikte hızlı klor geçirimsizliği sırasıyla %16 ve %14 oranlarında azalırken, bu iki mineral katkının birlikte kullanımıyla birlikte azalma oranı %47 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte %10 mikro silika veya %2 NS kullanımı basınç dayanımını 28 günde sırasıyla %9 ve %38 oranlarında artırırken, mikro silika ile NS'nin birlikte kullanımı basınç dayanımını %52 oranında artırmıştır [15].

Yapılan çalışmada, farklı su/bağlayıcı oranına sahip üç farklı beton karışımında, NS ve GYFC'nin ayrı ayrı kullanımlarının yanında, birlikte kullanılmaları durumunda basınç dayanımı, elastisite modülü ve Poisson oranı değerlerinde meydana

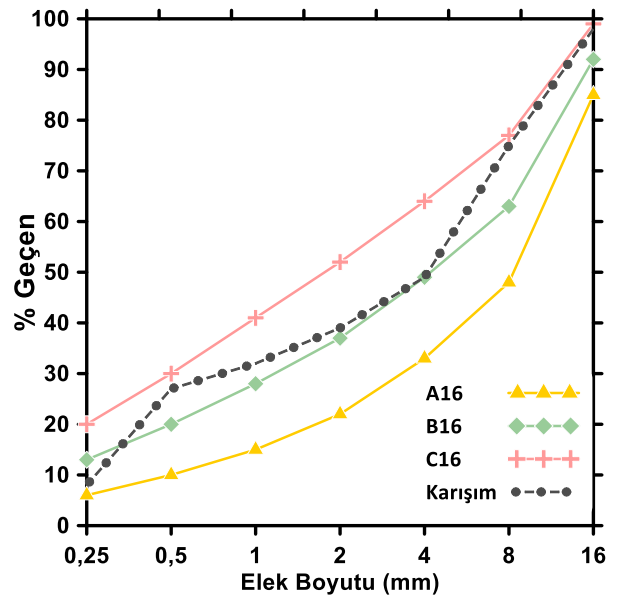
gelen değişimler ve bu mineral katkılarının, farklı su/bağlayıcı oranlarına sahip betonların özellikleri üzerindeki etkinlikleri araştırılmıştır.

Malzeme ve Karışım Özellikleri

Çalışma kapsamında, en büyük tane boyutu 16 mm olacak şekilde 0-2 mm doğal kum, 0-8 mm kırma kum ve 4-16 mm kırma taş olmak üzere 3 tip agregaya kullanılmıştır. Karışım agregaya granülometrisi belirlenirken, TS 802 standardında [16] verilen B16-C16 eğrileri arasından geçen bir agregaya karışım granülometrisi hedeflenmiştir. Böylece, agregaya kullanım oranları, doğal kum, kırma kum ve kırma taş için sırasıyla %20, %30 ve %50 olarak belirlenmiştir. Çalışmada bağlayıcı olarak Akçansa marka CEM I 42,5R sınıfı çimento ve Nuh Beton firmasından temin edilen granüle yüksek fırın çürufu (GYFC) kullanılmıştır. Bununla birlikte, ortalama tane büyüklüğü 17 nm olan Levasil CB17 marka NS, mineral katkı olarak kullanılan bir diğer malzemedir. Kullanılan NS, koloidal formda olup su içerisindeki nano silika miktarı ağırlıkça %40 oranındadır. Beton karışımlarına NS eklenirken, toplam bağlayıcıya oranla %1 olarak belirlenen NS miktarını sağlayabilmek için gerekli koloidal form ağırlığı belirlenmiş ve NS ile birlikte karışıma giren su miktarı, beton karışım suyundan eksiltmiştir. Diğer yandan, kimyasal katkı olarak CHRYSO marka Optima 280 kodlu süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Beton karışımlarında kullanılan malzemelere ait özgül ağırlık değerleri Tablo 1'de ve TS 802'de [16] tanımlanan standart eğriler ile birlikte karışım agregaya granülometri eğrisi Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Malzemelere ait özgül ağırlık değerleri.

Malzeme	Özgül Ağırlık (g/cm ³)
Çimento	3.15
Granüle Yüksek Fırın Çürufu	2.90
Nano Silika	2.33
Doğal Kum	2.63
Kırma Kum	2.73
Kırma Taş No.1	2.74
Kimyasal Akışkanlaştırıcı	1.03



Şekil 1. Karışım agregaya granülometri eğrisi.

Tablo 2. Betonlara ait karışım bilgileri.

Karışım Kodu	Çimento (kg/m ³)	GYFC (kg/m ³)	NS (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	S/B Oranı	Kimyasal Katkı (%)	Doğal Kum (kg/m ³)	Kırma Kum (kg/m ³)	Kırma Taş No.1 (kg/m ³)
C280	280	-	-				368	573	958
C280+NS	280	-	2.8	190	0.68	0.8	368	572	956
GYFC56	224	56	-				366	569	951
GYFC56+NS	224	56	2.8				365	568	950
C320	320	-	-				361	562	939
C320+NS	320	-	3.2	190	0.59	1.1	360	560	937
GYFC64	256	64	-				359	558	933
GYFC64+NS	256	64	3.2				359	557	932
C360	360	-	-				353	549	919
C360+NS	360	-	3.6	190	0.53	1.2	353	548	917
GYFC72	288	72	-				352	547	915
GYFC72+NS	288	72	3.6				351	546	914

Yapılan çalışmada, 3 farklı su/bağlayıcı oranına sahip beton karışımları hazırlanmış olup, her bir referans karışımda kullanılan çimento miktarları sırasıyla, 280, 320 ve 360 kg/m³'tür. Tüm karışımlarda, kullanılan karışım suyu miktarı 190 kg/m³ olarak sabit tutulmuştur. Her bir farklı su/bağlayıcı oranına sahip karışımda, GYFC kullanım oranı çimento ağırlığının %20'si olarak belirlenmiştir ve GYFC, çimento ile ikame edilerek kullanılmıştır. Diğer yandan, kullanılan NS miktar olarak çok düşük olduğundan, çimento ile yer değiştirilmeden karışıma direkt kimyasal katkı gibi eklenmiştir. NS kullanım oranı %1 olarak seçilmiştir ve hem referans hem de GYFC içeren betonlarda aynı oranda kullanılmıştır. Çalışma kapsamında üretilen beton karışımlarına ait bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

Deneysel Çalışma ve Kullanılan Yöntemler

Betonlara ait karışım bilgilerinin verildiği Tablo 2'de görüldüğü üzere, her bir su/bağlayıcı grubunda referans, referans+NS, GYFC ve GYFC+NS olmak üzere 4 farklı karışım, toplamda ise 12 farklı beton üretilmiştir.

Beton karışımları hazırlanırken 50 litre kapasiteli beton mikseri kullanılmıştır. Tartım işlemi tamamlanan malzemelerden, öncelikle agregalar mikserin kazanına yerleştirilerek kısa bir süre kuru halde karıştırıldıktan sonra, karışım suyunun bir miktarı eklenerek kısa bir süre daha karıştırılmıştır. Ardından, bağlayıcı malzemeler ve suyun kalan kısmı mikserin kazanına eklenerek karıştırma işlemine devam edilmiştir. Kolloidal formdaki NS, akışkanlaştırıcı katkı betona katıldıktan sonra kimyasal katkı ekler gibi yavaş bir şekilde eklenmiştir. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkının kullanım miktarı, referans betonlarda ortalama çökme değeri 15±2 cm aralığında olacak şekilde belirlenmiş ve her bir gruptaki mineral katkı betonlarda bu oranlar sabit tutulmuştur. Karıştırma işlemi tamamlanan taze betonlar üzerinde, öncelikle TS EN 12350-2 [17] standardına uygun olarak kıvam deneyi ve TS EN 12350-6 [18] standardına göre birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Ardından, her bir karışımdan 8'er adet $\Phi 150 \times 300$ mm boyutunda silindirik numune alınmıştır. Numuneler bir gün sonra kalıplardan çıkarılıp 4 tanesi 28. güne kadar, kalan 4 tane ise 120. güne kadar 21±2°C sıcaklığa sahip kirece doymun kür havuzunda

bekletilmiştir. Deney günü gelmeden 10 gün önce numunelerin üst yüzeyine çimento başlık yapılmış ve 1 gün sonra tekrar kür havuzuna yerleştirilmiştir. Deney günü gelen numuneler üzerinde, TS EN 12390-3 [19] standardına uygun bir şekilde basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Basınç deneyleri gerçekleştirilirken, elastisite modülü ve Poisson oranı değerlerini de belirleyebilmek için her bir numune üzerine düşey ve yanal deformasyonları ölçebilen bir çerçeve sistemi bağlanmıştır. Deneyde kullanılan test cihazı (Besmak marka 3000 kN kapasiteli) yük kontrollü olarak çalışmaktadır. Bu nedenle deney sonuna doğru numunede çözülme çatlakları hızla ilerlemeye başladığında, cihaz uygulanan yüklemeyi sabit tutabilmek için test plakasını çok daha hızlı bir şekilde hareket ettirmektedir. Nihayetinde numunelerin kırılması ani ve gevrek bir biçimde olmakta ve çerçeveye zarar vermektedir. Bu nedenle yüklemeyi hız olarak standarda göre biraz daha düşük bir değer seçilmiştir (5 kN/s). Basınç deneyinde kullanılan numune ve çerçeve sistemini gösteren fotoğraf Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Basınç deneyinde kullanılan çerçeve sistemi.

Verilen şekilden de görüldüğü üzere, çerçeve üzerinde boyuna deplasmanı ölçen ve simetrik olarak yerleştirilmiş 2 adet [20], yanal deplasmanı ölçen 1 adet lineer değişken diferansiyel transformatör (LVDT) bulunmaktadır. LVDT'ler aracılığı ile kaydedilen veriler kullanılarak, her bir

numune için boyuna ve enine birim şekil değiştirmeler hesaplanmış ve gerilme-deformasyon grafikleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, formül (1) kullanılarak elastisite modülü değerleri ve formül (2) kullanılarak Poisson oranı değerleri hesaplanmıştır.

$$E = (S_2 - S_1)/(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \quad (1)$$

$$\mu = (\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1})/(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \quad (2)$$

Formül (1) ve formül (2)'de; "E" elastisite modülünü, "S₂" ve "ε₂" sırasıyla maksimum yükün %40'ına karşılık gelen gerilme ve boyuna deformasyonu, "S₁" ve "ε₁" sırasıyla maksimum yükün %10'una karşılık gelen gerilme ve boyuna deformasyonu, "μ" Poisson oranını, "ε_{t2}" ve "ε_{t1}" sırasıyla maksimum yükün %40'ına ve %10'una karşılık gelen yanal deformasyonları göstermektedir.

Deney Sonuçları ve Değerlendirmeler

Birim Ağırlık ve Çökme (Slump) Değerleri

Birim ağırlık ve çökme deneyleri neticesinde elde edilen taze hal özelliklerine ait sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Birim ağırlık ve çökme (slump) değerleri.

Karışım Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Çökme (cm)
C280	2335	13.0
C280+NS	2341	11.5
GYFC56	2348	17.0
GYFC56+NS	2348	12.5
C320	2341	16.0
C320+NS	2357	11.0
GYFC64	2351	15.0
GYFC64+NS	2362	10.0
C360	2351	15.0
C360+NS	2354	5.5
GYFC72	2360	15.5
GYFC72+NS	2371	9.5

Tablo 3'te görüldüğü üzere taze birim ağırlık değerleri 2330 kg/m³ ile 2370 kg/m³ arasında değişmiştir. Deneysel çalışma ve kullanılan yöntemler bölümünde de belirtildiği gibi referans betonlarda çökme değerleri yaklaşık 15±2 cm olacak şekilde ayarlanan akışkanlaştırıcı katkı miktarı, her bir beton grubu içerisindeki mineral katkı betonların tamamında sabit tutulmuştur. Referans betonlara göre karşılaştırıldığında, GYFC ikamesi yapılan karışımlarda kimyasal katkı ihtiyacında önemli bir değişiklik olmazken, karışıma %1 oranında NS eklenmesiyle çökme değerleri, azalan su/bağlayıcı oranı ve artan çimento dozajı ile birlikte giderek artan oranda düşmüştür. Üretici firmaların beyanına göre, çalışmada kullanılan NS'nin özgül yüzey alanı 170 m²/g iken, çimento ve GYFC'nin özgül yüzey alanı değerleri ise birbirine yakın olup 0.40 m²/g mertebesinde. Sonuç olarak, NS'nin sahip olduğu son derece yüksek olan özgül yüzey alanı nedeniyle, su ihtiyacı ciddi oranda artmış ve betonların kıvamı belirgin bir şekilde düşmüştür.

Basınç Dayanımı, Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Değerleri

Eksenel basınç deneyi sonucunda elde edilen 28 ve 120 günlük ortalama basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

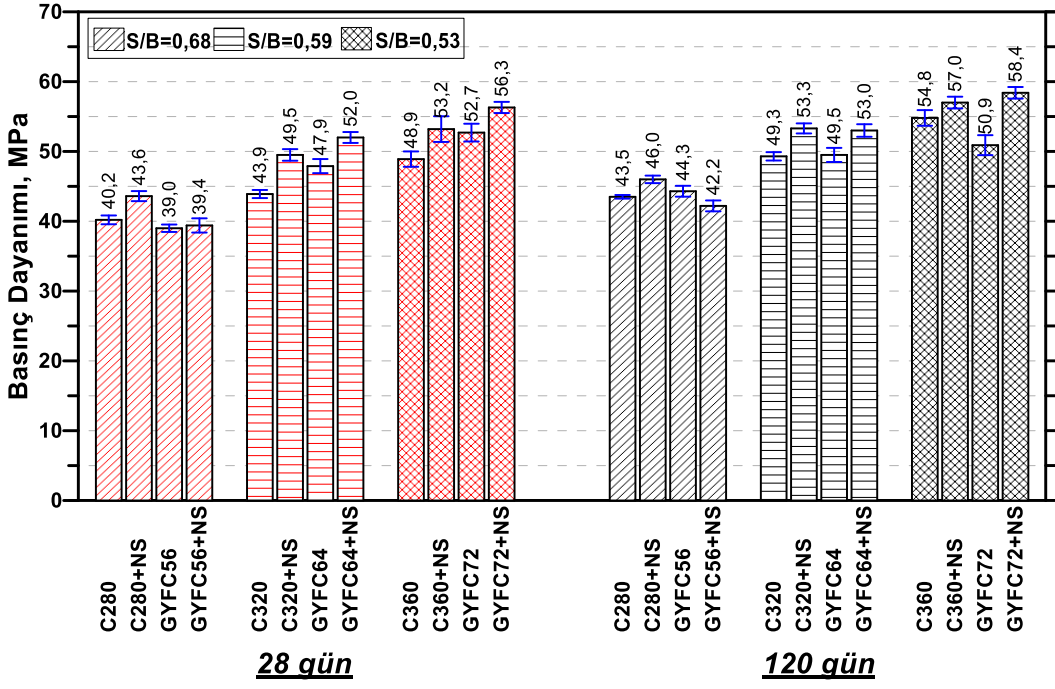
Tablo 4. Basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri (parantez içerisindeki değerler standart sapmayı göstermektedir).

Karışım Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
	28 Gün		120 Gün	
C280	40.2 (0.63)	23.4 (1.52)	43.5 (0.26)	27.0 (1.03)
C280+NS	43.6 (0.72)	22.9 (0.98)	46.0 (0.54)	26.9 (0.77)
GYFC56	39.0 (0.53)	21.9 (1.08)	44.3 (0.78)	25.9 (1.10)
GYFC56+NS	39.4 (1.02)	22.1 (0.83)	42.2 (0.78)	25.8 (1.14)
C320	43.9 (0.58)	24.4 (0.64)	49.3 (0.60)	29.2 (1.16)
C320+NS	49.5 (0.83)	23.6 (0.98)	53.3 (0.72)	28.7 (0.52)
GYFC64	47.9 (1.01)	25.5 (0.78)	49.5 (1.01)	27.2 (0.73)
GYFC64+NS	52.0 (0.78)	28.6 (0.84)	53.0 (0.90)	29.8 (0.91)
C360	48.9 (1.10)	22.3 (2.37)	54.8 (1.12)	28.3 (0.93)
C360+NS	53.2 (1.84)	23.9 (0.17)	57.0 (0.84)	30.6 (2.37)
GYFC72	52.7 (1.27)	26.2 (1.55)	50.9 (1.43)	28.6 (1.35)
GYFC72+NS	56.3 (0.80)	27.9 (1.75)	58.4 (0.83)	31.1 (1.22)

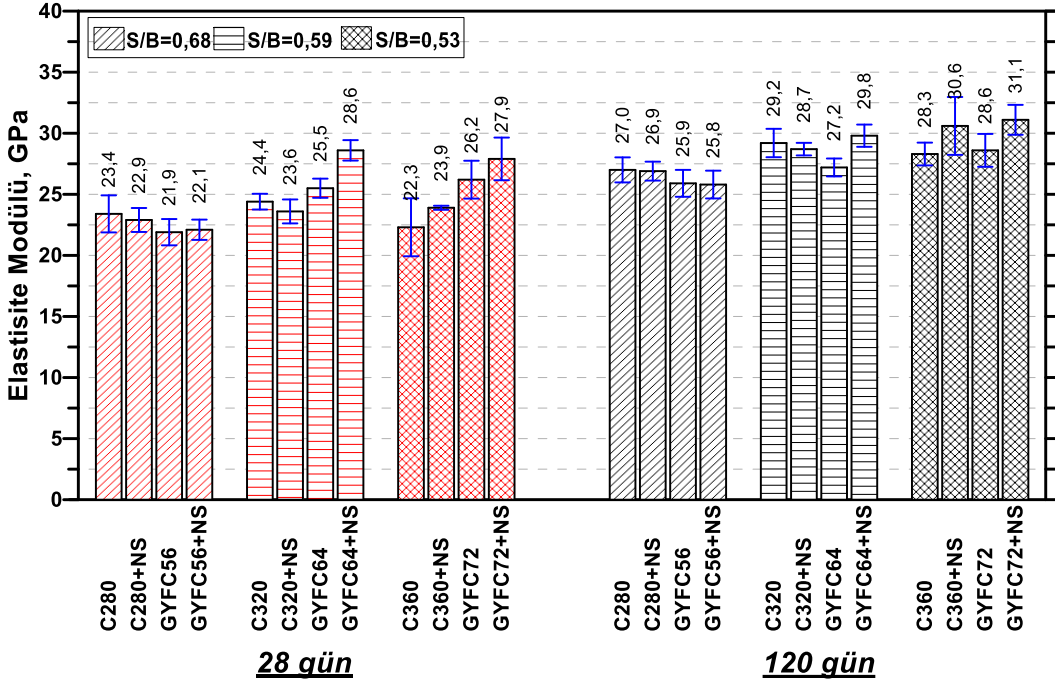
Tablo 4'te görüldüğü üzere, 0.68, 0.59 ve 0.53 su/bağlayıcı oranlarına sahip referans betonlara ait basınç dayanımı değerleri 28 günde sırasıyla 40.2, 43.9 ve 48.9 MPa iken, 120 günde 43.5, 49.3 ve 54.8 MPa'dır. Yani beklenildiği üzere su/bağlayıcı oranı azaldıkça elde edilen basınç dayanımı değerleri artmıştır. Diğer taraftan, elastisite modülü değerlerine bakılacak olursa, elde edilen değerler 28 günde sırasıyla 23.4, 24.4 ve 22.3 GPa iken, 120 günde 27.0, 29.2 ve 28.3 GPa olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar her ne kadar birbirine çok yakın olsa da, hem 28 hem de 120 günde en yüksek elastisite modülü değerleri 0.59 s/b oranına sahip referans karışımdan (C320) elde edilmiştir. Bu sonuca göre, C320 kodlu referans betonun, kullanılan çimento dozajı, s/b oranı ve buna bağlı olarak agrega konsantrasyonu sayesinde, çalışma kapsamında üretilen karışımlar arasında elastisite modülü açısından en uygun dizayna sahip olduğu söylenebilir. Çünkü her ne kadar C280 karışımında agrega konsantrasyonu daha fazla olsa da hamur fazının dayanımı daha düşük kalırken, C360 karışımında da hamur fazının dayanımı daha yüksek olmasına rağmen agrega konsantrasyonu daha düşük seviyede kalmıştır.

Ayrıca, Tablo 4'te yer alan 28 ve 120 günlük basınç dayanımı ve elastisite modülü değerlerine ait grafikler sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Karışıma, NS ve/veya GYFC katılması durumunda basınç dayanımında veya elastisite modülünde meydana gelen değişimler, bu grafikler üzerinden daha kolay bir şekilde değerlendirilebilecektir.

Öncelikle karışım gruplarına ait grafiklerin genel değişim eğilimlerine bakıldığında, C280 grubunun hem 28 hem de 120 günde, C320 ve C360 karışım gruplarından ayrıldığı görülmektedir. Bu durumun temel nedeni olarak çimento dozajının daha az ve s/b oranının daha yüksek olması



Şekil 3. Karışımlara ait 28 ve 120 günlük basınç dayanımı değerleri.



Şekil 4. Karışımlara ait 28 ve 120 günlük elastisite modülü değerleri.

gösterilebilir. Çünkü bilindiği üzere NS ve GYFC, dayanıma esas katkıyı puzolanik reaktiviteleri sayesinde sağlamaktadırlar. Yani, C280 karışım grubunda hem çimento miktarının az olmasına bağlı olarak hidrasyon ürünü olan CH miktarının yetersiz kalmış olması, hem de su/bağlayıcı oranının yüksek olmasına bağlı olarak beton içerisindeki kılcal boşlukların boyut ve miktarının daha fazla olması mineral katkıların etkinliğini azaltmıştır. Nitekim C280 karışım grubunda sadece NS eklenmesi basınç dayanımına katkı sağlayabilmiştir (28 günde %8.5). Bu durum üzerinde ise, NS'nin yüksek reaktiviteye sahip olması etkili olmuştur. Daha önce belirtildiği üzere, çalışmada kullanılan NS'nin özgül yüzey alanı (170 m²/g), GYFC ve çimentonun yaklaşık 420 katı bir değere sahiptir. Bu durum, NS'nin hem çok

yüksek puzolanik reaktiviteye sahip olmasına, hem de oluşturduğu çekirdeklenme etkisi ile çimento tanelerinin çok erken yaşlarda hızlı bir şekilde hidrasyon ürünü oluşturmasını sağlamasına bağlanmaktadır. Böylece NS, dayanım üzerindeki etkisini çok erken yaşlarda gösterebilmektedir [21].

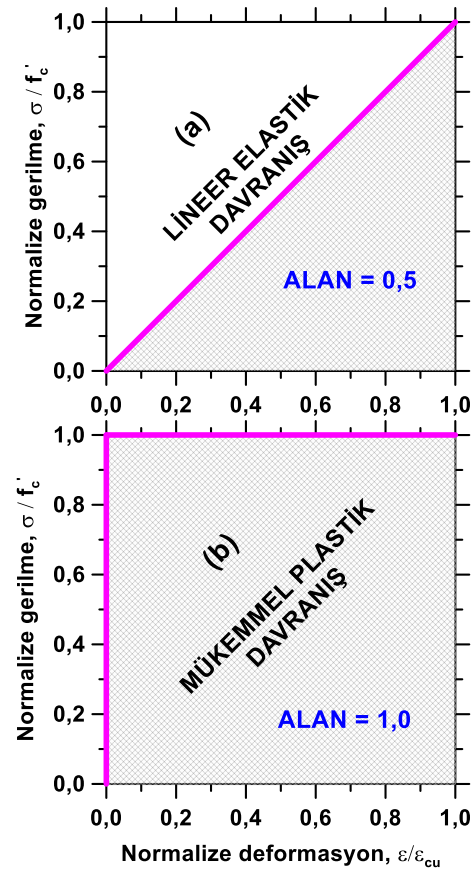
Şekil 3'te verilen C320 ve C360 karışım grubuna ait 28 günlük dayanım değerlerine bakıldığında, karışıma %1 oranında NS eklenmesi, dayanımı referans karışıma göre sırasıyla %12.8 ve %8.8 oranında artırırken, GYFC eklenmesi durumunda bu artış oranları sırasıyla %9.1 ve %7.8 olmuştur. Fakat en dikkat çekici sonuç NS ve GYFC'nin birlikte kullanımı ile elde edilmiştir. NS+GYFC mineral katkıları içeren C320 ve C360 karışımlarında,

referans karışıma göre elde edilen dayanım artış oranları sırasıyla %18.5 ve %15.1'tir. Bu sonuç açık bir şekilde göstermektedir ki NS ve GYFC'nin birlikte kullanılmasının oluşturduğu sinerjik etki, dayanım değerlerinin çok daha yüksek oranlarda artış göstermesini sağlamaktadır. Aynı karışım grupları için 120 günlük sonuçlar incelendiğinde, sadece GYFC eklenen karışımlardan C320 grubunda olanın dayanım değeri, referans ile neredeyse eşit çıkarken, C360 grubunda olan karışımın dayanım değeri referans karışımdan daha düşük çıkmıştır. Hatta 28 günlük deney sonucuna göre, 120 günde C360+GYFC karışımından elde edilen dayanım değeri %3.4 daha düşük elde edilmiştir. Diğer yandan, C320 referans karışımına NS veya GYFC+NS eklenmesi 120 günde dayanımı %8.1 ve %7.5 oranlarında artırırken, C360 referans karışımına NS veya NS+GYFC eklenmesi dayanım değerlerini %4.0 ve %6.6 oranlarında artırmıştır. Mineral katkıların kullanımıyla, 28 günde çok daha yüksek mertebelerde olan referans betona göre dayanım artış oranlarının 120 günde azalmasının nedeni, referans karışımların hidrasyon sürecini mineral katkılı betonlara göre daha geç tamamlıyor olmasıdır. Örneğin, C320 ve C360 referans betonlarının 28 günden 120 güne dayanım artış oranları sırasıyla %12.3 ve %12.1 iken, 28 günde en yüksek dayanımları veren GYFC+NS katkıli betonların 28 günden 120 güne dayanım artış oranları sırasıyla %1.9 ve %3.7'dir. Son olarak, %20'lik GYFC kullanım oranının etkinliği 120 günlük nihai dayanım değerleri üzerinden değerlendirilecek olursa, bu kullanım oranında GYFC'nin etkinlik değerinin yaklaşık 1'e eşit olduğu söylenebilir.

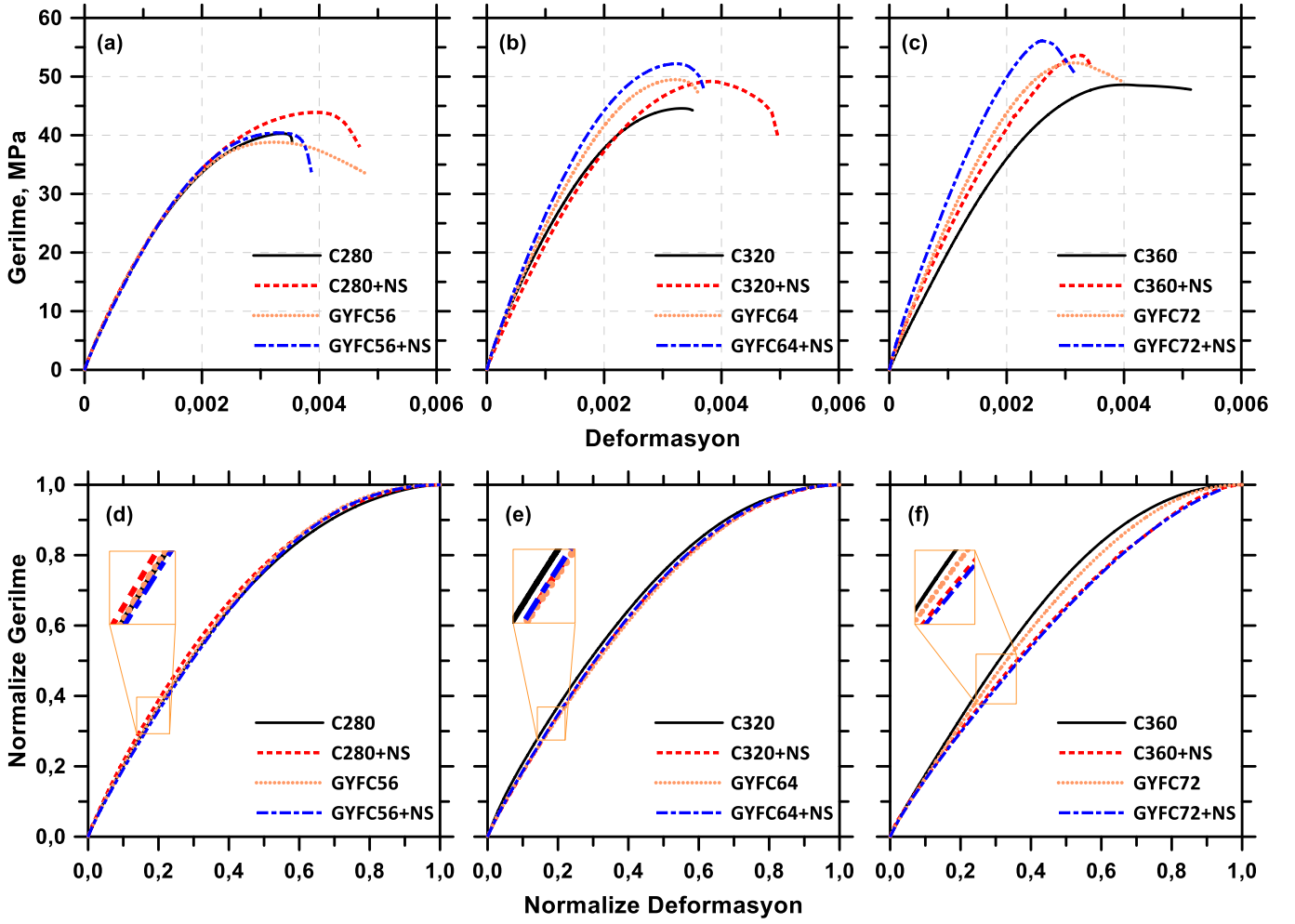
Şekil 4'te verilen grafik incelendiğinde, öncelikle basınç dayanımı sonuçları ile paralel bir şekilde C280 karışım grubundan elde edilen elastisite modülü değerleri, hem 28 hem de 120 günde referans karışıma göre daha düşük çıkmıştır. Daha önce de açıklandığı gibi, bu karışım grubunda kullanılan çimento miktarının düşük olması ve yüksek su/bağlayıcı oranına sahip olması bu sonucu açıklamaktadır. Diğer yandan C320 karışım gruplarına bakıldığında, 28 günde sadece NS katkısının elastisite modülü değerini artırmadığı, en yüksek artışın ise, NS ve GYFC'nin birlikte kullanıldığı karışımdan elde edildiği görülmektedir. Ancak 120 günlük sonuçlara bakıldığında, referans karışımın elastisite modülü değerinin sadece NS ve sadece GYFC kullanılan karışımlara ait modül değerlerini geçtiği görülmekle birlikte, yine bu deney yaşında da en yüksek modül değeri NS ve GYFC'nin birlikte kullanıldığı karışımdan elde edilmiştir (referansa göre %17.2 daha yüksek). Diğer yandan, C360 karışım grubuna odaklanıldığında, mineral katkıların hem 28 hem de 120 günde referans karışımlara göre elastisite modülü değerlerini artırdığı açık bir şekilde görülmektedir. 28 günlük sonuçlar incelenecek olursa, elastisite modülü değerlerinin referans karışıma göre C360+NS, GYFC72 ve GYFC72+NS karışımlarında sırasıyla %7.2, %17.5 ve %25.1 oranında arttığı, 120 günde ise bu artış oranlarının aynı sırayla %8.1, %1.1 ve %9.9 olduğu hesaplanmıştır. Diğer yandan, C360 grubundaki referans, NS, GYFC ve NS+GYFC karışımlarının elastisite modülü değerlerinde, 28 günden 120 güne kadar meydana gelen artış oranları, sırasıyla %26.9, %28.0, %9.2 ve %11.5'tir. Elde edilen bu sonuçlar açık bir şekilde göstermektedir ki basınç dayanımında olduğu gibi NS ve GYFC'nin birlikte kullanılması durumunda oluşan sinerjik

etki, her iki mineral katkının ayrı ayrı kullanımına göre çok daha belirgin bir şekilde elastisite modülü değerlerini artırmıştır. Diğer yandan, 120 günde nihai dayanımlar üzerinden değerlendirilecek olursa, NS'nin etkinliği çimento kullanım miktarının artması ve su/bağlayıcı oranının azalması ile birlikte çok daha belirgin bir şekilde artmıştır. Bu durum, NS'nin sadece özgül yüzey alanının çok yüksek olmasının nihai dayanım ve elastisite modülü değerlerini etkin bir şekilde artırması için yeterli olmadığını göstermektedir. Yani, karışıma katılan toplam NS miktarı toplam bağlayıcının %1'i kadar olduğu için karışıma kütleli olarak az miktarda eklenmektedir. Bu da yüksek miktarda ve büyüklükte kılcal boşluk içeren karışımlarda NS'nin oluşturduğu hidrasyon ürünlerinin ve filler etkisinin yeteri kadar görülebilmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak su/bağlayıcı oranı azaldıkça NS'nin etkinliği artmaktadır. Diğer yandan, NS daha büyük tane boyutuna sahip GYFC ile birlikte kullanıldığında ise filler etkisinin yanında, kılcal boşlukları daha etkin bir şekilde dolduracak hidrasyon ürünlerinin oluşumunu sağlayabilmektedirler.

Numunelerin basınç yüklemesi altındaki, normalize gerilme - normalize deformasyon grafikleri çizildiğinde, eğrinin altında kalan toplam alan malzemenin davranışı hakkında bilgi vermektedir. Eğer, malzeme mükemmel lineer elastik ve gevrek ise normalize gerilme-deformasyon eğrisinin altında kalan alan 0.5'e eşit olacaktır. Malzemenin mükemmel plastik olması durumunda ise bu alan 1'e eşit olacaktır. Yani betona ait eğrinin altında kalan alan 0.5 ile 1 arasında değişecektir. Anlatılan bu yöntem şematik olarak Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Lineer elastik (a) ve mükemmel plastik (b) davranışı gösteren şematik grafikler [22].



Şekil 6. Beton gruplarına ait örnek gerilme-deformasyon (a), (b), (c) ve normalize gerilme-normalize deformasyon (d), (e), (f) grafikleri (verilen grafikler 28 günlük deney sonuçlarından elde edilmiştir).

Çalışma kapsamında üretilen her bir beton grubuna ait 28 günlük deneylerden elde edilen örnek gerilme-deformasyon ve normalize gerilme-normalize deformasyon (gerilme değerleri maksimum gerilmeye göre, deformasyon değerleri ise maksimum gerilmeye karşılık gelen deformasyon değerine göre normalize edilmiştir) grafikleri Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6(a), 6(b) ve 6(c)'de sırasıyla C280, C320 ve C360 beton grupları için verilen gerilme-deformasyon grafikleri incelendiğinde, C280 grubuna ait tüm beton karışımlarına ait grafiklerin çözülme sınırına kadar birbirleri ile çakıştıkları görülmektedir. Diğer taraftan, daha önceki paragraflarda da bahsedildiği üzere su/bağlayıcı oranının azalmaya başlamasıyla birlikte mineral katkıların etkinliklerini göstermeye başladığı ve her bir grup içerisindeki mineral katkılı betonlara ait grafiklerin, lineer elastik bölgeden itibaren birbirinden ayrılmaya başladığı görülmektedir. Bu durum C360 beton grubunda çok daha belirgindir.

Şekil 6(d), 6(e) ve 6(f)'de sırasıyla C280, C320 ve C360 beton grupları için verilen normalize gerilme-deformasyon grafikleri incelendiğinde basınç dayanımı sonuçlarına paralel bir şekilde, C280 beton grubunda, mineral katkıların yetersiz bağlayıcı miktarı ve yüksek su/bağlayıcı oranına bağlı olarak belirgin bir etki gösteremedikleri net bir şekilde görülmektedir. Diğer yandan, C320 grubuna bakıldığında mineral katkılı betonların referans betondan ayrılmaya başlayıp lineer elastik davranışa doğru yaklaştığı

görülmektedir. Bu etki C360 beton grubunda artık çok daha belirgin bir hale gelmekte ve özellikle C360+NS ve GYFC72+NS karışımlarının davranışı, lineer elastik davranışa bir hayli yaklaşmaktadır. Bu durum aynı zamanda özellikle NS içeren karışımların davranışlarının daha yüksek bir oranda gevrekleştiğini göstermektedir.

Çalışmada incelenen bir diğer özellik de beton numunelerine ait Poisson oranı değerlerinde mineral katkı kullanımı ile meydana gelen değişimlerdir. Üretilen beton karışımlarına ait hesaplanan Poisson oranı değerlerinde belirgin bir değişim eğiliminin olmadığı saptanmıştır. Betonlara ait Poisson oranı değerleri 0.19 ile 0.22 arasında değişmiştir. Sırasıyla C280, C320 ve C360 referans betonlarından elde edilen Poisson oranı değerleri 0.23, 0.21 ve 0.20'dir. Yani dayanım arttıkça Poisson oranı azalmıştır. Karışımlara sadece GYFC eklenmesi durumunda Poisson oranı ya sabit kalmış ya da 0.01 veya 0.02 değer düşmüştür. Diğer yandan referans veya GYFC içeren betonlara NS eklenmesi durumunda ise Poisson oranı değerleri genellikle sabit kalmış veya 0.01 değer artış göstermiştir. Her bir karışım için 28 günden 120 güne gözlemlenen değişimlere bakıldığında ise C280 grubunda Poisson oranı değerlerinin 0.01 veya 0.02 değer azaldığı fakat diğer beton gruplarında genellikle sabit kaldığı görülmüştür. Çok büyük farklılıklar ve belirgin eğilimler elde edilemediği için bu hususta daha detaylı bir değerlendirme yapılamamıştır.

Sonuçlar

NS ve GYFC mineral katkılarının ayrı ayrı ve birlikte kullanımının farklı su/bağlayıcı oranına sahip beton karışımlarına ait mekanik ve elastik özelliklere etkisinin incelendiği çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- %1 oranında dahi olsa NS kullanımı, sahip olduğu çok yüksek özgül yüzey alanı sayesinde betonun kıvamını ciddi bir şekilde düşürmüştür.
- Betona NS katılması, bütün dayanım sınıflarında 28 günlük basınç dayanımlarını belirgin bir şekilde artırmıştır. Bu durum NS'nin özgül yüzey alanının çok büyük olmasına bağlı olarak sahip olduğu reaktivitenin yüksek olması ve böylece hem çekirdeklenme etkisi oluşturması hem de puzolanik reaksiyonu hızlandırması ile açıklanmıştır.
- Basınç dayanımı sonuçlarının aksine, NS kullanımının elastisite modülü üzerindeki etkisinin, 28 günde değil 120 günde çok daha belirgin hale geldiği gözlemlenmiştir.
- Yapılan çalışma sınırları dâhilinde, 320 ve 360 kg/m³ çimento içeren karışımlarda 120 günlük sonuçlara göre, GYFC'nin %20 oranında kullanılması durumunda etkinlik değerinin yaklaşık olarak 1'e eşit olduğu saptanmıştır. NS'nin etkinliği ise azalan s/b oranı ile birlikte artış göstermiştir.
- Çalışma kapsamında elde edilen en önemli sonuçlardan bir tanesi, tek başına kullanım yerine NS'nin GYFC ile birlikte kullanılması, çimento dozajı ve su/bağlayıcı oranı uygun olan karışımlarda ve tüm deney yaşlarında, hem basınç dayanımını hem de elastisite modülünü çok etkin bir şekilde artırmıştır. Şöyle ki, C320 ve C360 karışım gruplarında en yüksek basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri NS ve GYFC'nin birlikte kullanıldığı karışımlardan elde edilmiştir.
- C280 karışım grubunda kullanılan çimento miktarının düşük olması ve s/b oranının yüksek olmasına bağlı olarak, bu karışıma mineral katkıların eklenmesi herhangi bir olumlu etki oluşturmamıştır (28 ve 90 günde sadece NS katkısı içeren karışımların basınç dayanımı değerleri hariç).
- Normalize gerilme-deformasyon grafiklerinden elde edilen sonuç, basınç dayanımı sonuçlarını destekleyici bir şekilde mineral katkı kullanımının, yüksek su/bağlayıcı oranına sahip karışımlarda bir etkisinin olmadığını fakat azalan su/bağlayıcı oranı ile birlikte mineral katkıların (özellikle NS), betonların davranışını belirgin bir şekilde lineer-elastik davranışa doğru yaklaştırarak gevrekliği artırdığını göstermiştir.
- Poisson oranı değerleri su/bağlayıcı oranının azalması ile birlikte azalmıştır. Karışıma GYFC eklenmesi genellikle Poisson oranını düşürürken, NS kullanımı az da olsa artmasına neden olmuştur.

Kaynaklar

[1] M. Amin and K. Abu El-Hassan, "Effect of using different types of nano materials on mechanical

properties of high strength concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 80, pp. 116–124, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.12.075.

- [2] J. Björnström, A. Martinelli, A. Matic, L. Börjesson, and I. Panas, "Accelerating effects of colloidal nano-silica for beneficial calcium-silicate-hydrate formation in cement," *Chem. Phys. Lett.*, vol. 392, no. 1–3, pp. 242–248, 2004, doi: 10.1016/j.cplett.2004.05.071.
- [3] M. Liu, Z. Zhou, X. Zhang, X. Yang, and X. Cheng, "The synergistic effect of nano-silica with blast furnace slag in cement based materials," *Constr. Build. Mater.*, vol. 126, pp. 624–631, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.078.
- [4] M. Balapour, A. Joshaghani, and F. Althoey, "Nano-SiO₂ contribution to mechanical, durability, fresh and microstructural characteristics of concrete: A review," *Constr. Build. Mater.*, vol. 181, pp. 27–41, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.266.
- [5] M. Jalal, E. Mansouri, M. Sharifipour, and A. R. Pouladkhan, "Mechanical, rheological, durability and microstructural properties of high performance self-compacting concrete containing SiO₂ micro and nanoparticles," *Mater. Des.*, vol. 34, pp. 389–400, 2012, doi: 10.1016/j.matdes.2011.08.037.
- [6] R. Prashanth, S. Senthil Selvan, and M. Balasubramanian, "Experimental investigation on durability properties of concrete added with nano silica," *Rasayan J. Chem.*, vol. 12, no. 2, pp. 685–690, 2019, doi: 10.31788/RJC.2019.1225165.
- [7] N. Atmaca, M. L. Abbas, and A. Atmaca, "Effects of nano-silica on the gas permeability, durability and mechanical properties of high-strength lightweight concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 147, pp. 17–26, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.156.
- [8] M. Berra, F. Carassiti, T. Mangialardi, A. E. Paolini, and M. Sebastiani, "Effects of nanosilica addition on workability and compressive strength of Portland cement pastes," *Constr. Build. Mater.*, vol. 35, pp. 666–675, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.04.132.
- [9] M. Y. Durgun and H. N. Atahan, "Rheological and fresh properties of reduced fine content self-compacting concretes produced with different particle sizes of nano SiO₂," *Constr. Build. Mater.*, vol. 142, pp. 431–443, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.098.
- [10] P. K. Hou, S. Kawashima, K. J. Wang, D. J. Corr, J. S. Qian, and S. P. Shah, "Effects of colloidal nanosilica on rheological and mechanical properties of fly ash-cement mortar," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 35, no. 1, pp. 12–22, 2013, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2012.08.027.
- [11] A. Nazari and S. Riahi, "The effects of SiO₂ nanoparticles on physical and mechanical

- properties of high strength compacting concrete,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 42, no. 3, pp. 570–578, 2011, doi: 10.1016/j.compositesb.2010.09.025.
- [12] L. G. Li, J. Y. Zheng, J. Zhu, and A. K. H. Kwan, “Combined usage of micro-silica and nano-silica in concrete: SP demand, cementing efficiencies and synergistic effect,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 168, pp. 622–632, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.02.181.
- [13] M. Gesoglu, E. Güneysi, D. S. Asaad, and G. F. Muhyaddin, “Properties of low binder ultra-high performance cementitious composites: Comparison of nanosilica and microsilica,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 102, pp. 706–713, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.11.020.
- [14] A. M. Sharkawi, M. A. Abd-Elaty, and O. H. Khalifa, “Synergistic influence of micro-nano silica mixture on durability performance of cementitious materials,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 164, pp. 579–588, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.013.
- [15] M. Jalal, A. Pouladkhan, O. F. Harandi, and D. Jafari, “Comparative study on effects of Class F fly ash, nano silica and silica fume on properties of high performance self compacting concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 94, pp. 90–104, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.07.001.
- [16] Turkish Standards Institution, “Design of Concrete Mixes (TS 802),” 2016.
- [17] Turkish Standards Institution, “Testing fresh concrete, Part 2: Slump test (TS EN 12350-2:2019),” 2019.
- [18] Turkish Standards Institution, “Testing fresh concrete, Part 6: Density (TS EN 12350-6:2019),” 2019.
- [19] Turkish Standards Institution, “Testing hardened concrete, Part 3: Compressive strength of test specimens (TS EN 12390-3:2019),” 2019.
- [20] V. Abdullah, E. Aydin, and İ. Bedirhanoğlu, “Beton basınç dayanımının ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi,” *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Derg.*, vol. 1, no. 8, pp. 43–52, 2017.
- [21] Z. Xu, Z. Zhou, P. Du, and X. Cheng, “Effects of nano-silica on hydration properties of tricalcium silicate,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 125, pp. 1169–1177, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.003.
- [22] H. N. Turkmenoglu and H. N. Atahan, “Deformation Properties of Nano-Silica Modified Concrete Mixtures under Uniaxial Compression Loading,” *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 46, no. 11, pp. 11009–11025, 2021, doi: 10.1007/s13369-021-05431-y.