



**BANDIRMA
ONYEDİ EYLÜL
ÜNİVERSİTESİ**

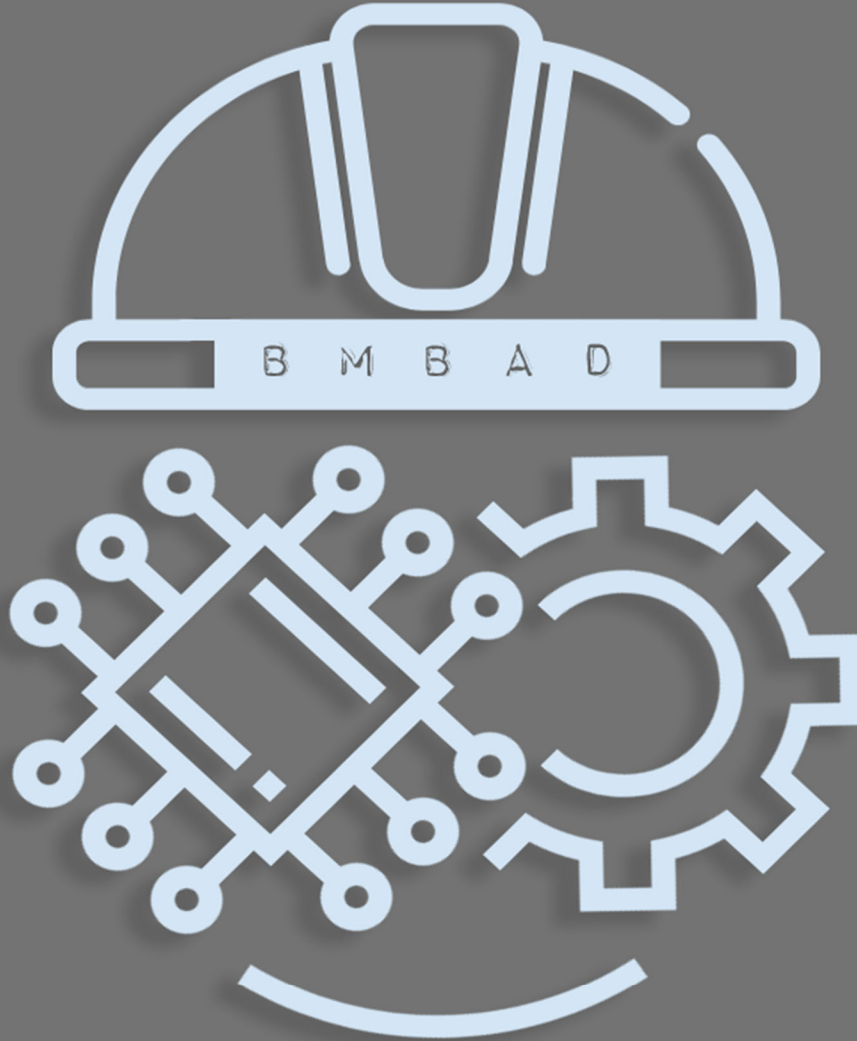
**BMBAD
BJESR**

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi
Journal of Engineering Sciences and Researches

Cilt/Volume : 6

Sayı/Issue : 1

Yıl/Year : 2024





BMBAD
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi
Journal of Engineering Sciences and Researches



Müh.Bil.ve Araş.Dergisi

Cilt/Vol. 6

Sayı/Issue 1

2024

ISSN: 2687-4415

Sahibi/Owner

Prof. Dr. İsmail BOZ *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Rektörü*

Baş Editor /Editor in Chief

Prof. Dr. Muhammet Nuri SEYMAN *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi*

Yardımcı Editör/Associate Editor

Doç. Dr. Bülent BÜYÜK *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi*

Alan Editörleri/Field Editors

Doç. Dr. Adem DALCALI (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Elektrik-Elektronik)

Doç. Dr. Bülent BÜYÜK (Bandırma Onyedi Eylül Üniversite) (Mühendislik Temel Bilimleri)

Dr. Öğr. Üyesi Aykut DİKER (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Bilgisayar)

Dr. Öğr. Üyesi Evren İŞEN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Elektrik-Elektronik)

Mizanpaj

Arş. Gör. F. Kebire BARDAK (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Dil Editörü

Arş. Gör. Muhammed Şamil BALCI (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Editörler Kurulu/Editorial Board

Prof. Dr. Feyzullah TEMURTAŞ, ftemurtas@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet KURBAN, mehmet.kurban@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi

Prof. Dr. Fırat KAÇAR, gkacar@istanbul.edu.tr, İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi

Prof. Dr. Cihan KARAKUZU, cihan.karakuzu@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi

Prof. Dr. Muhammet Nuri SEYMAN, mseyman@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi

Prof. Dr. Gökçen NUR YILMAZ, gokceyilmaz@tedu.edu.tr, TED Üniversitesi

Doç. Dr. Abdullah YEŞİL, ayesil@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi

Doç. Dr. Muharrem PUL, mpul@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Doç. Dr. Ali DURMUŞ, adurmus@kayseri.edu.tr, Kayseri Üniversitesi

Doç. Dr. Hayri YAMAN, hyaman@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Dr. Öğr. Üye. Onursal ÇETİN, ocerin@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi

Dr. Öğr. Üye. Rahim DEHKHARGHANI, rdekharghani@bonabu.ac.ir, Computer Eng., Natural Language Processing, and Sentiement Analysis

Behnaz HASSANSHAHİ, behnaz.hassanshahi@oracle.com, Oracle Lab Australia, Computer Eng. Dynamic Analysis and Fuzzing Techniques

Yayın veya Danışma Kurulu/Advisory Board

Prof. Dr. Hasan BAYINDIR, hasanbayindir@dicle.edu.tr, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan ERBAY, erbay@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY, mgunay@karabuk.edu.tr, Karabük Üniversitesi

Prof. Dr. Fırat KAÇAR, gkacar@istanbul.edu.tr, İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi

Prof. Dr. Cihan KARAKUZU, cihan.karakuzu@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet KURBAN, mehmet.kurban@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi

Prof. Dr. Osman YILDIZ, osmanyildiz@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Prof. Dr. Nejat YUMUŞAK, nyumusak@sakarya.edu.tr, Sakarya Üniversitesi

Prof. Dr. İbrahim DEVELİ, ideveli@erciyes.edu.tr, Erciyes Üniversitesi

Prof. Dr. Sertaç BAYHAN, sbayhan@hbku.edu.qa, Hamad Bin Khalifa University

Prof. Dr. Selim ÖNCÜ, soncu@karabuk.edu.tr, Karabük Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan YAMIK, hasan.yamik@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi

Doç. Dr. Adem DALCALI, adalcali@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi

Doç. Dr. İlker TÜRKER, iturker@karabuk.edu.tr, Karabük Üniversitesi

Doç. Dr. Muharrem PUL, mpul@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Doç. Dr. Ali DURMUŞ, adurmus@kayseri.edu.tr, Kayseri Üniversitesi

Doç. Dr. Serhat Berat EFE, Sefe@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyedı Eylöl Üniversitesi

Doç. Dr. Kenan HATİPOĞLU, kenan.hatipoglu@mail.vwu.edu, West Virginia Area University

Doç. Dr. Hayri YAMAN, hyaman@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Dr. Öğr. Üye. Rahim DEHKHARGHANI, rdehkharghani@bonabu.ac.ir, Computer Eng., Natural Language Processing, and Sentiment Analysis

Behnaz HASSANSHAHİ, behnaz.hassanshahi@oracle.com, Oracle Lab Australia, Computer Eng. Dynamic Analysis and Fuzzing Techniques

Yazıřma Adresi/ Correspondence Address

Bandırma Onyedı Eylöl Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Faköltesi, 10200 Bandırma/ Balıkesir, Türkiye

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

bjesr@bandirma.edu.tr

Tel: 0266 717 0117 (3512)

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

(Araştırma Makalesi/Research Article)

- 2.4 GHz VE 5 GHz Monopol Antenlerin Farklı Duvar Parametreleri İçin Kapsama Alanlarının İncelenmesi
Investigation of Coverage Areas Of 2.4 GHz and 5 GHz Monopol Antennas for Different Wall Parameters **1-12**
Hüseyin Tarık NİŞ, Mehmet Barış TABAKCIOĞLU

(Araştırma Makalesi/Research Article)

- Açıklanabilir Yapay Zekaya Dayalı Müşteri Kaybı Analizi ve Elde Tutma Önerisi
Explainable AI-Driven Churn Analysis and Retention Recommendation **13-23**
İbrahim KÖK

(Araştırma Makalesi/Research Article)

- Estimating Solar Energy within the scope of environmental factors by the Neural Network Algorithm
Sinir ağı algoritması ile çevresel faktörler kapsamında Güneş Enerjisinin tahmin edilmesi **24-34**
Yasemin AYZ ATALAN

(Araştırma Makalesi/Research Article)

- Elektronik Burun ve Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Gıda Aromalarının Sınıflandırılması
Classification of Food Flavors using Electronic Nose and Machine Learning Methods **35-41**
İlyas ÖZER, Kutlucan GÖRÜR, Onursal ÇETİN, Feyzullah TEMURTAŞ

(Araştırma Makalesi/Research Article)

- Optimizing Hyperparameters for Enhanced Performance in Convolutional Neural Networks: A Study Using Transfer Learning Models
Evrişimli Sinir Ağlarında Gelişmiş Performans için Hiperparametrelerin Optimize Edilmesi: Transfer Öğrenme Modelleri Kullanılarak Yapılan Bir Çalışma **42-52**
İbrahim AKSOY, Kemal ADEM

(Araştırma Makalesi/Research Article)

- Değiştirilmiş Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması ile Redüktör Tasarımının Simülasyonu
Simulation of Speed Reducer Design with the Modified Ant Colony Optimization Algorithm **53-64**
Kürşat TANRIVER, Mustafa AY

Optimization of Feed Ration Cost in Dairy Cattle by Genetic Algorithm

Sağmal İneklerde Yem Rasyonu Maliyetinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu

65-76

Ertuğ ATICI, Abdullah ELEN

Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile GTZAN Veri Kümesine Ait Müzik Türlerinin Sınıflandırılması

Classification of Music Genres of GTZAN Dataset with Machine Learning Methods

77-87

Mehmet Cüneyt ÖZBALCI, Hasan ŞAHİN, Turgay Tugay BİLGİN

Design and Comparative Analysis of E-Shape and H-Shape Microstrip Patch Antenna for IoT Application

Nesnelerin İnterneti Uygulaması için E-Tip ve H-Tip Mikroşerit Yama Anten Tasarımı ve Karşılaştırmalı Analizi

88-97

Ali DURMUŞ, Zafer YILDIRIM

Bandwidth Enhancement of a D-Crescent-Shaped Monopole Patch Antenna for Wireless Applications

Kablosuz Uygulamalar için D-Hilal Şekilli Tek Kutuplu Yama Anteninin Bant Genişliğinin Artırılması

98-104

Cem GÜLER, Sena Esen BAYER KESKİN

6G Ağlarında Dikdörtgen Yarıkli Kare Yama Antenin Farklı Dielektrik Malzemeler İçin Işıma Karakteristikleri Analizi

Analysis of Radiation Characteristics of a Rectangular Slotted Square Patch Antenna for Different Dielectric Materials at 6G Networks

105-112

Barış Gürcan HAKANOĞLU

Konuşma İşaretlerinin Derin Evrişimsel Otokodlayıcı ve Artık Vektör Nicemleme Tabanlı Sıkıştırılması

Deep Convolutional Autoencoder and Residual Vector Quantization-Based Compression of Speech Signals

113-124

Tahir BEKİRYAZICI, Gürkan AYDEMİR, Hakan GÜRKAN

Forecasting of the Dental Workforce with Machine Learning Models

Diş Hekimliği İşgücünün Makine Öğrenmesi Modelleri ile Tahmin Edilmesi

125-132

Abdulkadir ATALAN, Hasan ŞAHİN

Termik Güç Santrali ve Fotovoltaik Güneş Enerji Sisteminden Oluşan Güç Sisteminde Üstel PI Denetleyici ile
Sekonder Frekans Regülasyonu

*Secondary Frequency Regulation Using Exponential PI Controller for a Power System Comprising of Thermal
Power Plant and PV Solar Energy System*



133-142

Emre ÇELİK



2.4 GHz VE 5 GHz Monopol Antenlerin Farklı Duvar Parametreleri İçin Kapsama Alanlarının İncelenmesi

Investigation of Coverage Areas Of 2.4 GHz and 5 GHz Monopol Antennas for Different Wall Parameters

¹Hüseyin Tarık NİŞ , ²Mehmet Barış TABAKCIOĞLU 

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa-Türkiye

²Bursa Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Bursa-Türkiye

¹huseyintariknis@gmail.com, ²mehmet.tabakcioglu@btu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 7 August 2023

Accepted : 23 October 2023

Keywords:

CEM, Monopole Antenna, Far Field Radiation, Electromagnetic Field, Coverage Area

ABSTRACT

The coverage areas of Wi-Fi modules, where the operating frequency is different, vary depending on location and the walls' properties. To investigate the effect of these parameters on the coverage areas, 2.4 GHz and 5 GHz monopole antennas were placed in three different locations. In addition, the walls' thickness and the material's effect on the coverage area were examined. Before the analyses were carried out, far-field radiation was obtained for monopole antennas at defined frequencies. Then, radiation analysis was carried out with the obtained far-field radiation data. As a result of the findings, it was determined that the steel structure had the lowest coverage area, and it was also observed that the wooden wall provided the best coverage. However, considering the housing structures, it was concluded that the most suitable wall material would be foam concrete instead of brick and standard concrete since the use of wood would be limited.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 7 Ağustos 2023

Kabul : 23 Ekim 2023

Anahtar Kelimeler:

CEM, Monopol Anten, Uzak Alan Işıması, Elektromanyetik Alan, Kapsama Alanı

ÖZET

Çalışma frekansları farklı olan Wi-Fi modüllerinin kapsama alanları, bir evin içerisindeki konuma ve bulunduğu konumdaki duvar malzemesine bağlı olarak değişmektedir. Duvar malzemesi parametrelerinin kapsama alanlarının üzerinde ki bu etkisinin araştırılması için bir ev tasarlanmış ve ev içerisindeki 3 farklı konuma 2.4 GHz ve 5 GHz yayın yapan monopol antenler yerleştirilmiştir. Ayrıca duvarların kalınlığı ve duvarın yapıldığı malzemenin kapsama alanına etkisi incelenmiştir. Analizler gerçekleştirilmeden önce belirlenen frekanslardaki monopol antenler için uzak alan ışınması elde edilmiş ve sonrasında elde edilen uzak alan ışınması verileriyle konut içerisinde ışınma analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda çelik yapının en düşük kapsama alanına sahip olduğu tespit edilmiş ve ayrıca, ahşap özellikli duvarın en iyi kapsama alanını sağladığı gözlemlenmiştir. Fakat konut yapıları düşünüldüğünde ahşap kullanımı kısıtlı olacağı için en uygun duvar malzemesinin tuğla ve normal beton yerine köpüklü beton olacağı sonucuna varılmıştır.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

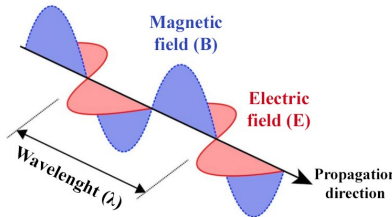
Wi-Fi teknolojisi kullanılan cihazların sayısı günümüzde oldukça fazladır. Bunlara televizyonlar, kişisel bilgisayarlar, akıllı telefonlar, akıllı ev cihazları gibi birçok cihaz örnek verilebilir. Kullanılan bu cihazların çoğunluğu 2.4 GHz ve 5 GHz frekanslarındaki elektromanyetik dalgalar ile haberleşmeyi gerçekleştirmektedir. Farklı haberleşme frekanslarına sahip olmaları bu cihazların kapsama alanını da oldukça etkilemektedir. Kapsama alanını etkileyen diğer bir faktör ise bu cihazların konumlandırılmasıdır. Kötü gerçekleştirilen konumlandırma konut içerisinde bir odada Wi-Fi erişimi bulunurken diğer bir odada erişiminin bulunmamasına sebep olmaktadır. Bu problemi çözmek adına modemlerin elektromanyetik alan ışınma analizinin yapılması ve en uygun konumun tercih edilmesi gerekmektedir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde Wi-Fi modüllerinin konumlandırılması için çeşitli çalışmaların yapıldığı gözlemlenmiştir. Shanmugaapriyan vd. [1] bir ofis ortamında 2.4 GHz ve 5 GHz Wi-Fi modülünün konumlandırılması adına bu araştırmayı yaparken, Belay vd. 5 GHz Wi-Fi modülünün optimum konumlandırılması için dinamik makine öğrenimi yaklaşımını kullanmıştır [2]. Yaşar vd. [3] çift bant anten tasarımı ile 2.4 GHz ve 5 GHz uygulamalarında kazancı artırmaya çalışırken ve WiLucas vd. [4] iç mekan ve dış mekanda 2.4 GHz ve 5 GHz kablosuz yerel ağdan (Wireless Local Area Network, WLAN) faydalanılarak bir elektronik cihazın konumunun tayin edilmesi üzerine çalışmış ve belirtilen frekanslardaki haberleşmenin geliştirilmeye açık farklı yönleri olduğunu göstermiştir. Çalışmalardan anlaşıldığı üzere deneme yanılma yönteminden ziyade iyi bir konumlandırma için makine öğreniminin kullanımı söz konusudur. Bununla birlikte kapsama alanı için en iyi konumlandırmanın belirlenmesi adına çeşitli çalışmalar da gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada çok iyi bir konumlandırmadan ziyade, temel olarak 2.4 GHz ve 5 GHz’de yayım yapan monopol anten Wi-Fi modüllerinin kapsama alanlarının aynı ev içerisinde farklı konumlarda ve farklı duvar özelliklerinde nasıl davrandığı incelenmiştir. Bu davranışın anlaşılması en iyi noktanın belirlenmesinde bir ölçüt olarak kullanılabilir ve analiz yapılamayacak karmaşık ortamlar için lokasyon tercihinin öngörülebilmesini sağlayabilir.

Bu kapsamda, belirtilen frekanslarda Wi-Fi olarak kullanılan monopol antenlerinin belirli bir konut için elektromanyetik ışınma güç dağılım analizi; en verimli noktayı bulmak, iki işletim frekansını kıyaslamak ve farklı duvar özellikleri barındıran yapıyı değerlendirmek adına gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu analizle konut içerisinde daha iyi bir konum varsa bulunması ve sisteme eklenebilecek çoğaltıcıların hangi konuma koyulması gerektiği hakkında fikir elde edilecektir. Bununla birlikte bir anten davranışının nasıl olduğu ve elektromanyetik ışınmanın farklı duvar özellikleri için nasıl değiştiği de ele alınmıştır.

2. TERMİNOLOJİ VE TEMEL KAVRAMLAR

Bir ortamda elektrik alanı meydana getirmek için yüklü cisimler ivmeli bir şekilde hareket ettirilir. Oluşan elektrik alanının zamana göre değişmesiyle birlikte Şekil 1’de gösterildiği gibi manyetik alan elde edilir. Elde edilen bu ikili alan tanımı elektromanyetik dalga olarak isimlendirilerek haberleşme teknolojisinin temelini oluşturur [5]. Kablosuz modemlerde kullanılan monopol antenin davranışı da elektromanyetik dalgaların davranışına dayanmaktadır.

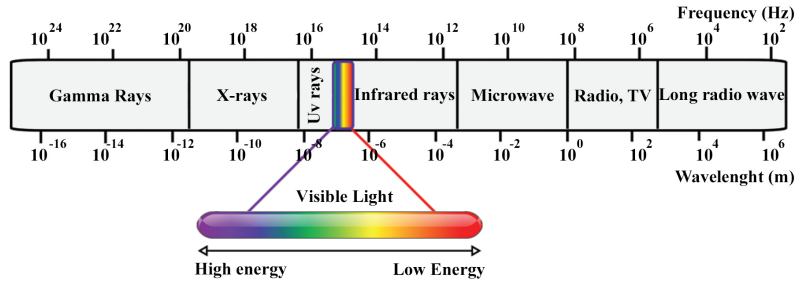


Şekil 1. Elektromanyetik alanın yayılımı [6].

$$c = f \cdot \lambda \quad (1)$$

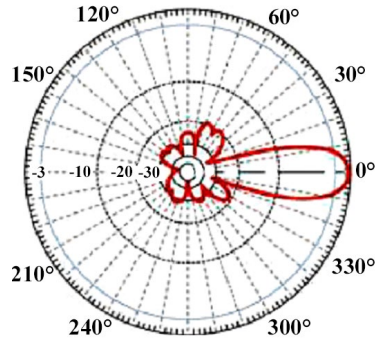
Elektromanyetik dalgalar ışık hızında yayılırlar. Denklem 1’deki matematiksel ilişki açıkça göstermektedir ki dalga boyu arttıkça frekans azalmakta, frekans arttığında ise dalga boyu azalmaktadır. Geniş bir spektruma sahip olduğu için kullanım alanı da bu genişlikte çeşitlenmekte ve farklılaşmaktadır. Örneğin Radyo Dalgaları TV ve radyolarda kullanılırken X ışınları tıp sektöründe kullanılmaktadır. Wi-Fi modemlerinin işletim frekansları ise Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Intitute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 802.11 spesifikasyonları tarafından belirlenmiş olup 2.4 GHz, 3.6 GHz, 5 GHz ve 60 GHz şeklindedir [7]. Belirtilen bu işletim frekansları ise mikrodalga sınıfına girmektedir. Elektromanyetik spektrumun gösterimi Şekil 2’deki gibi verilmiştir.

Elektromanyetik dalgaların yayılımı ve bunların toplanıp anlamlı verilere dönüştürülmesi antenler ile sağlanmaktadır. Antenler boşluktaki elektromanyetik dalgaları toplayarak bu dalgaların iletim hatları içerisinde yayılmasını ve haberleşme açısından anlamlı bir forma dönüşmesi için aktarılmasını sağlayan veya iletim hatlarından gelen sinyalleri boşluğa elektromanyetik dalga olarak yayan cihazlardır. Genel olarak antenleri iki amaç içerisinde ele alabiliriz. Bunlardan biri güç transferi ve serbest uzayda empedans uyumluluğu sağlamak bir



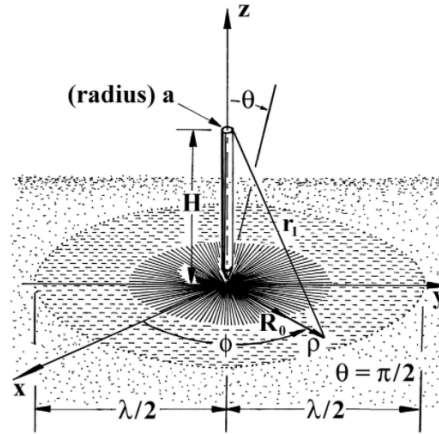
Şekil 2. Elektromanyetik spektrum [8].

diğeri ise elektromanyetik ışınımı Şekil 3'te gösterildiği gibi belirli bir alanda yönlendirmektir. Bu iki amaç da tek bir yöntemle hizmet eder, bu ise kablosuz haberleşme yöntemidir.



Şekil 3. Kutupsal düzlemde çizilmiş anten kazancı yönlülüğü [9].

Anten için temelde frekans, rezonans, kazanç, yönlülük, ışınma örüntüsü ve verimlilik önemli olan parametrelerdir. Elektrik ve manyetik alan uzaklıkla azalırken, güç yoğunluğu uzaysal uzaklaşmadan dolayı uzaklığın karesi ile azalır [10]. Bunlara bağlı olarak uzak alan ışınmasını oluşturmak için telekomünikasyonda dikey antenler olarak isimlendirilen ve 5 GHz ve 2.4 GHz özelliğine sahip Şekil 4'te gösterilen her yöne yayılım yapan monopol antenler kullanılmıştır.



Şekil 4. Monopol anten [11].

2.1. 2.4 GHz ve 5 GHz Arasındaki Farklar

Belirtilen frekanslarda kullanılan Wi-Fi, IEEE 802.11 protokolü ile haberleşme sağlayan bir WLAN teknolojisidir. Bu teknolojinin kullanılabildiği cihazların sayısı günümüzde oldukça fazladır. Kullanılan bu cihazların çoğunluğu ise 2.4 GHz ve 5 GHz frekanslarındaki elektromanyetik dalgalar ile haberleşme işlemini gerçekleştirmektedir [12]. Yaygın olan kullanıma bakıldığında 2.4 GHz Wi-Fi bandı ile karşılaşıırken 5 GHz daha çok çift bantlı Wi-Fi cihazları için kullanılır. İki farklı işletim frekansına sahip bu yapılar transmisyon hızı (bant genişliği) ve enterferans (girişim) açısından kıyaslanabilir.

Düşük frekanslı ağlara kıyasla yüksek frekanslı ağlar daha hızlı bir şekilde veri iletimini gerçekleştirebilirler. Bu veri iletiminin farkı, görüntü aktarımı gibi yüksek bant genişliği isteyen uygulamalarda hissedilir. Buradan yola çıkarak 5 GHz'nin 2.4 GHz'ye göre daha iyi iletim gerçekleştirdiğini söyleyebiliriz. Fakat bunun yanında daha yüksek frekans kullanıldığında yüksek frekans sinyalinin zemin ve duvar gibi katı cisimlere nüfuz

edememesinden kaynaklı olarak iletim aralığı da kısalmaktadır. Bu mesafe zayıflığı farklı teknoloji yöntemleri ile iyileştirilebilmektedir. Fakat burada incelenen, destek teknolojisi olmadan kullanılan Wi-Fi modülleridir. Diğer bir kıyaslama kısmı ise girişim durumudur. Günümüzde daha çok 2.4 GHz Wi-Fi modeli kullanıldığı için bunların bir bölgede birden fazla kullanılması da veri aktarımı sırasında parazitlere sebep olmaktadır. Ayrıca 5 GHz'de 23 adet kanal bulunmasına karşılık 2.4 GHz'de 3 adet kanal bulunması da bu girişim etkisini arttırmaktadır [13]. Sonuç olarak 2.4 GHz'nin kapsama alanı bakımından daha iyi olduğu fakat iletim verimi olarak daha düşük bir verime sahip olduğu anlaşılmaktadır.

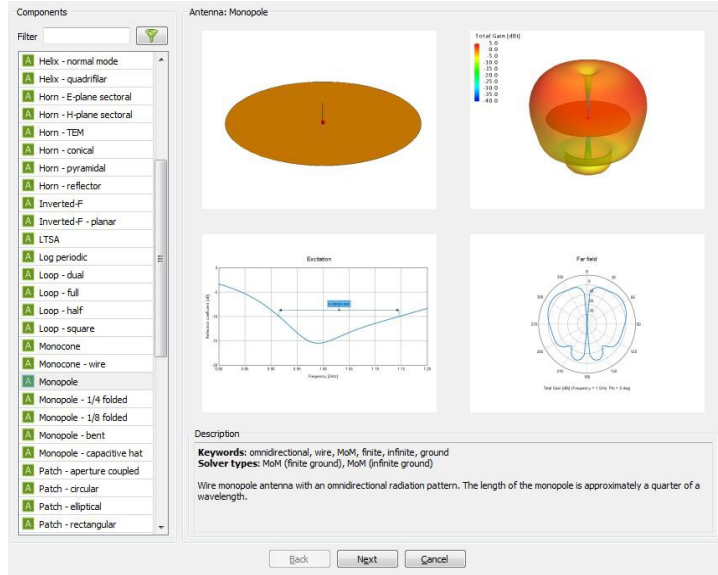
2.2. Wi-Fi Teknolojisi ve İnsan Sağlığına Etkisi

Elektromanyetik radyasyon, enerjinin parçacık veya dalga halinde yayılması olarak tanımlanır. Parçacık veya dalga olarak yayılan bu enerjinin insan sağlığı üzerinde termal ve termal olmayan iki farklı etkisi mevcuttur. Termal etki dokunun ısınmasına sebep olurken termal olmayan etkiler moleküllerin titreşimine ve dönmelerine sebep olmaktadır [14]. Günümüzde bir çok alanda sürekli olarak kullanılan Wi-Fi teknolojisi de elektromanyetik alan teorisine dayanmaktadır. Genellikle sağlık üzerine yapılan araştırmalar, radyo frekansının mikrodalga kısmının (300 MHz ila 300 GHz) potansiyel olumsuz etkilerini yine radyo frekansı kullanan cihazlar arasında en fazla radyasyon yayan cep telefonu cihazları üzerine incelemeye odaklanmıştır [15]. Bununla birlikte Wi-Fi teknolojisinin yaygın kullanılması, özellikle işletim frekansı üzerine dikkatleri çekmektedir. Öyle ki; bugün Wi-Fi Alliance tarafından IEEE ile uyumlu olduğu onaylanan, kablosuz ağ ürünleri olan ve Wi-Fi teknolojisiyle donatılmayan neredeyse hiçbir dizüstü bilgisayar, akıllı telefon, tablet veya iletişim aygıtı yoktur [16]. Bu aygıtların doğrudan ve dolaylı olarak sağlık üzerine etkisi göz önünde bulundurulduğunda en uygun olan, olabildiğince az radyasyona maruz kalmaktır. Radyasyon maruziyetini azaltmanın bir yolu ise Wi-Fi modülünün uygun konuma yerleştirilmesidir. Yatak odası konumunun en az kapsama alanına sahip yer olarak tercih edilmesi günün büyük bir kısmında radyasyondan uzak kalmayı sağlar.

3. ANALİZ HİYERARŞİSİ VE SİSTEM PARAMETRELERİ

3.1. Anten Tipi ve Uzaı

Anten tipi olarak monopul anten tercih edilmiştir. $x=0.2$ metre, $y=0.2$ metre, $z=0.06$ metre ölçülerinde bir router tasarlanmış, ardından Şekil 5'te gösterildiği gibi kütüphaneden seçilen monopul anten router üzerine eklenmiştir. Komponent kütüphanesinden istenilen frekans değerleri için otomatik olarak belirli bir boyutta monopul anten oluşturulmuştur.

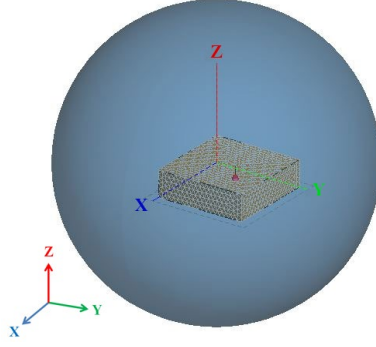


Şekil 5. Kütüphaneden monopul anten seçimi.

Buna ilave olarak, oluşturulan monopul antenin konumlandırılması gerçekleştirildikten sonra router ve etrafındaki uzay için mesh yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan mesh yapısının 3D patterni için θ ve ϕ konum değerleri Şekil 6'da verildiği gibi 3 derece artırımlarla elde edilmiştir. Daha sonra belirlenen anten, istenilen çözüm frekansında (antenin 2.4 GHz yahut 5 GHz olmasına bağlı olarak) verilen mesh için çözdürülmüştür.

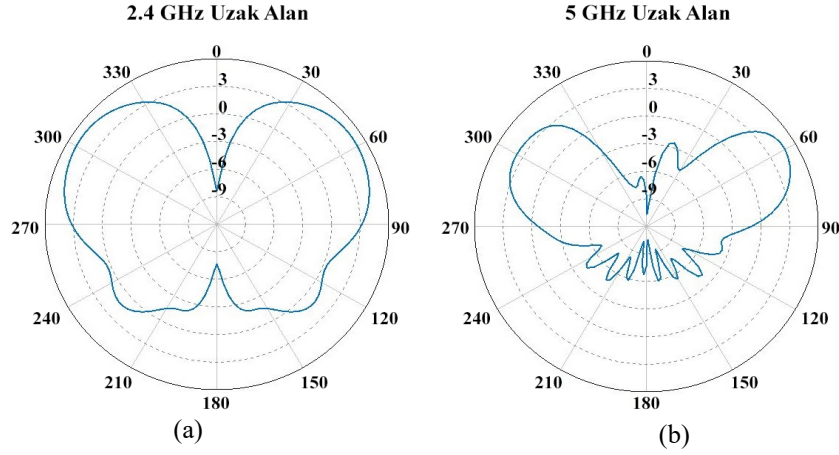
3.2. Anten Kazancı ve Yönlülüğü

Analiz gerçekleştirildikten sonra elde edilen sonuçlar anten kazancı ve yönlülüğü açısından karşılaştırılmıştır. 2.4 GHz ve 5 GHz için elde edilmiş olan uzak alan ışıması desibel cinsinden kazanç için Şekil 7'deki gibidir. Şekil 7 incelendiğinde 2.4 GHz monopul antenin aynı besleme kaynağı altında daha fazla alanda kazançla sahip



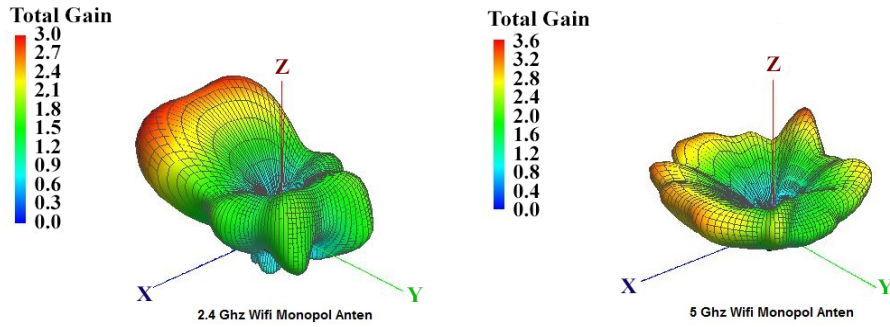
Şekil 6. Router ve çevresi mesh yapısı.

olduğu gözlemlenmektedir. Işınım genişliği açısından 5 GHz çok dar bir açıyı kapsarken 2.4 GHz daha fazla ışınım genişliğine sahiptir. Yüzey alanı açısından incelendiğinde 2.4 GHz'nin daha büyük kapsama alanına ve çoklu yönde daha geniş bir yayılıma sahip olduğunu göstermektedir. 5 GHz yayılımı 2 ana lobdan oluşup arka lobları az olsa da 2.4 GHz'nin sahip olduğu ana lob ve yan lobların büyüklükleri de daha fazla kapsama alanına sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 7. Monopol anten için desibel cinsinden toplam kazanç; (a) 2.4 GHz Uzak Alan Işıması, (b) 5 GHz Uzak Alan Alan Işıması.

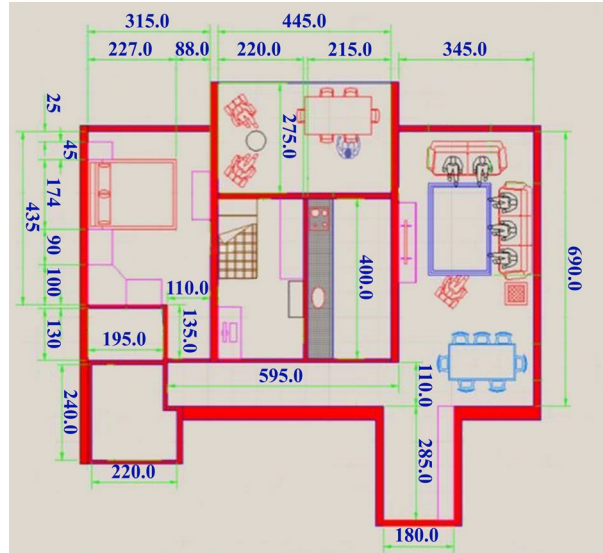
Polar düzlemde gösterimi yukarıda verildiği gibi olan ışınım yayılımlarının 3 boyutlu uzayda gösterimi ise Şekil 8'deki gibidir. Kazancın 5 GHz için daha fazla olduğu gözükse de buradaki ışınımın genişliği az olduğu için etkisi daha az olacaktır. Yani genlik olarak kazancı daha az olan 2.4 GHz ışınması, daha fazla alana ortalaması daha yüksek bir değer ile yayılacaktır. Monopol antenler için elde edilen bu elektromanyetik yayılım değerleri konumlandırma analizleri için kullanılmıştır. Buradan yola çıkarak yönlülük hakkında öngörde bulunmak zor olmasa da farklı yerlerde konumlandırılarak yapılan analizler de 2.4 GHz'nin daha fazla kapsama alanına sahip olduğunu göstermiştir.



Şekil 8. Uzayda uzak alan için anten kazancı ve yönlülüğünün ifadesi.

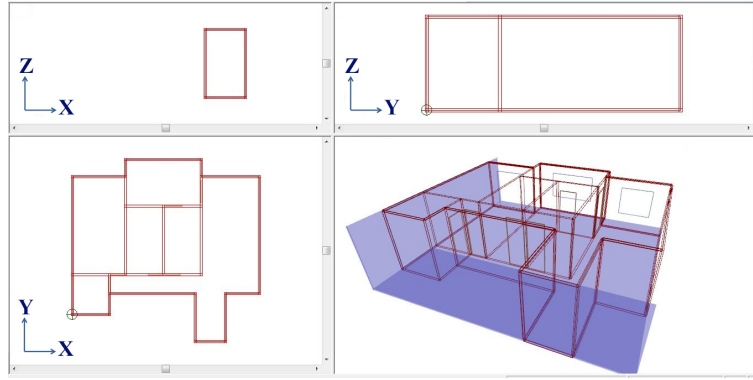
3.3. Ev Geometrisi ve Parametreleri

Anten için analiz gerçekleştirildikten sonra antenin koyulacağı evin 3D modeli oluşturulmuştur. Mimari için düşünülen yapı Şekil 9'da gösterilmektedir. Verilen mimari yapı için en sağdaki oda oturma odasını, en soldaki oda ise yatak odasını temsil etmekte olup ortada balkon, çalışma odası ve mutfak bulunmaktadır.



Şekil 9. Daire yapısı.

Bu kapsamda Şekil 9'da verilen daire birebir ölçüde çizilerek Şekil 10'daki yapı elde edilmiştir. Farklı malzemelerdeki her bir duvar için çizimler peşi sıra güncellenip kaydedilmiş ve yapı analiz için hazırlanmıştır.



Şekil 10. 3D daire yapısının oluşturulması.

Analiz, altı farklı duvar malzemesi için gerçekleştirilmiştir. Her bir duvar malzemesi için daire içerisinde üç farklı konum analiz kapsamında değerlendirilmiştir. Duvar kalınlıkları belirlenirken konstruktif uygunluk değil, sadece ışınım analizi amaçlanmıştır. Bu nedenle duvar ölçüleri değerlendirilirken bu varsayım göz önüne alınmalıdır.

Bir duvarın özelliği frekans değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Duvar özellikleri için ALTAIR Feko analiz programının arka planda kullanmış olduğu, kalınlığa bağlı olarak değişen hazır fiziksel parametreler uygulanmıştır. Analiz için kullanılacak olan her bir duvar malzemesinin özelliği ayrı bir tablo ile aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. 10 cm tuğla için frekans değerine göre duvar parametreleri.

2.4 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 4.66 dB	Gelen ışın (min) : 8 dB	
Yansım Kaybı : 9.52 dB	Gelen ışın (max) : 15 dB	
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın : 5 dB	
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 4	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.044 S/m
5 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 10.11 dB	Gelen ışın (min) : 12 dB	
Yansım Kaybı : 9.52 dB	Gelen ışın (max) : 19 dB	
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın : 9 dB	
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 4	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.111 S/m

Tablo 2. 30 cm tuğla için frekans değerine göre duvar parametreleri.

2.4 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 11.93 dB	Gelen ışın (min) :	8 dB
Yansım Kaybı : 9.52 dB	Gelen ışın (max) :	15 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	5 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 4	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.044 S/m
5 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 28.3 dB	Gelen ışın (min) :	12 dB
Yansım Kaybı : 9.52 dB	Gelen ışın (max) :	19 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	9 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 4	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.111 S/m

Tablo 3. 10 cm beton için frekans değerine göre duvar parametreleri.

2.4 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 6.89 dB	Gelen ışın (min) :	8 dB
Yansım Kaybı : 7.51 dB	Gelen ışın (max) :	15 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	5 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 6	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.078 S/m
5 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 14.67 dB	Gelen ışın (min) :	12 dB
Yansım Kaybı : 7.51 dB	Gelen ışın (max) :	19 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	9 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 6	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.194 S/m

Tablo 4. 10 cm köpük beton için frekans değerine göre duvar parametreleri.

2.4 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 2.17 dB	Gelen ışın (min) :	8 dB
Yansım Kaybı : 13.74 dB	Gelen ışın (max) :	15 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	5 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 2.3	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.017 S/m
5 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 4.87 dB	Gelen ışın (min) :	12 dB
Yansım Kaybı : 13.74 dB	Gelen ışın (max) :	19 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	9 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 2.3	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.042 S/m

Tablo 5. 10 cm ahşap (huş ağacı) için frekans değerine göre duvar parametreleri.

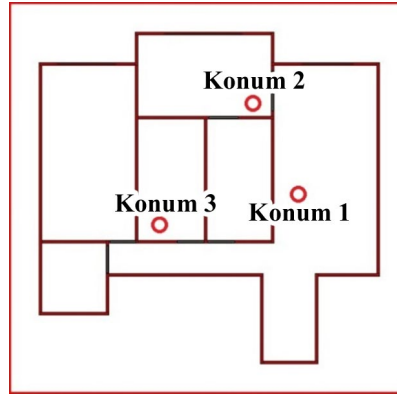
2.4 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 0.36 dB	Gelen ışın (min) :	8 dB
Yansım Kaybı : 22.51 dB	Gelen ışın (max) :	15 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	5 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 1.35	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.0022 S/m
5 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 0.83 dB	Gelen ışın (min) :	12 dB
Yansım Kaybı : 22.51 dB	Gelen ışın (max) :	19 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	9 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 1.35	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.006 S/m

Tablo 6. 5 mm çelik için frekans değerine göre duvar parametreleri.

2.4 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 0.36 dB	Gelen ışın (min) :	8 dB
Yansım Kaybı : 22.51 dB	Gelen ışın (max) :	15 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	5 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 1.35	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.0022 S/m
5 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 1055.42 dB	Gelen ışın (min) :	12 dB
Yansım Kaybı : 0.05 dB	Gelen ışın (max) :	19 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	9 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 1	Gör. Geçirgenlik: 20	İletkenlik: 27778 S/m

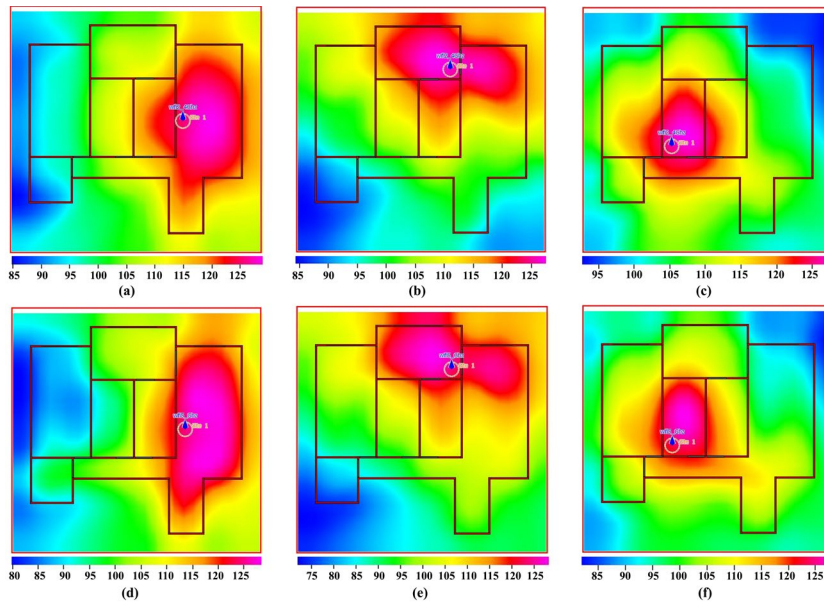
4. ANALİZ SONUÇLARI

Konum değerlendirmesi için anten Şekil 11'deki gibi üç farklı konuma yerleştirilmiştir. Birinci konum oturma odasını, ikinci konum çalışma odasını ve üçüncü konum balkonu temsil etmektedir. Bu yerleştirmeler her farklı duvar malzeme özelliği adına yapılmıştır. Her konumlandırma ve duvar özelliği kombinasyonu için iki farklı Wi-Fi işletim frekansı göz önünde bulundurularak 36 farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerin sonuçları duvar özelliklerine göre sınıflandırılmış ve yorumlanmıştır.



Şekil 11. Antenin yerleştirilip analizinin gerçekleştirileceği üç farklı konum.

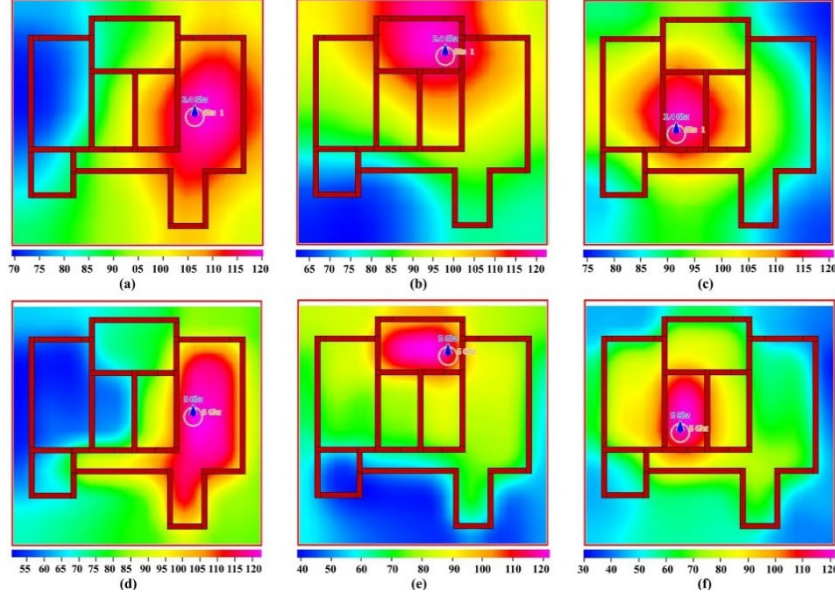
4.1. 10 cm Tuğla İçin Sonuçlar



Şekil 12. 1. duvar için alan kuvveti dağılımı [dB uV/m] a) 1. konum 2.4 GHz, b) 2. konum 2.4 GHz, c) 3. konum 2.4 GHz, d) 1. konum 5 GHz, e) 2. konum 5 GHz, f) 3. konum 5 GHz.

10 cm tuğla duvar özelliği için 2.4 GHz'nin 5 GHz'ye göre daha fazla alana yayılabildiği görülmüştür. Bununla birlikte, en kapsamlı konumlandırma oturma odası da göz önünde bulundurulduğunda 2. konumdur. Çünkü 1. konumda yatak odasında az çekim varken, 3. konumda oturma odasında az çekim olacağı görülmektedir. Fakat sağlık etkileri nedeniyle yatak odasında daha az çekim bulunması isteniyorsa 1. konumun tercih edilmesi gerekmektedir.

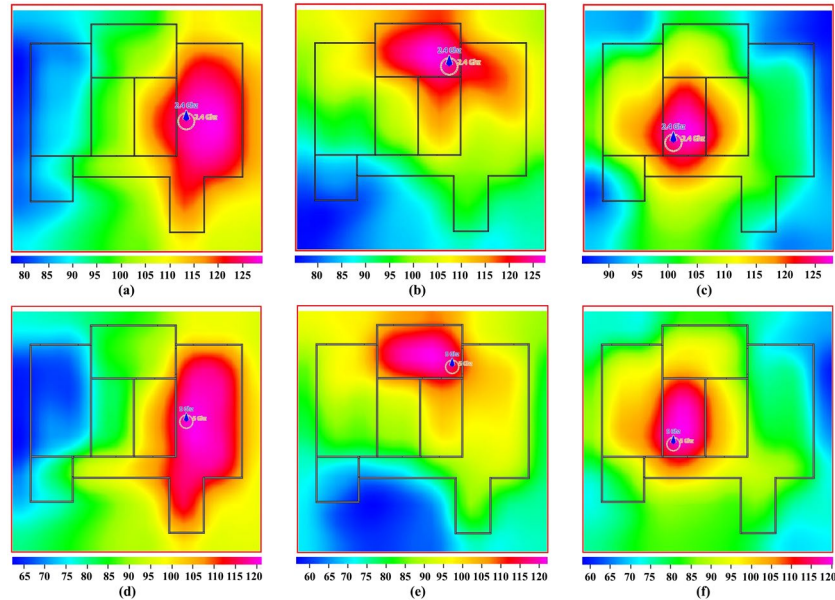
4.2. 30 cm Tuğla İçin Sonuçlar



Şekil 13. 2. duvar için alan kuvveti dağılımı [dB uV/m] a) 1. konum 2.4 GHz, b) 2. konum 2.4 GHz, c) 3. konum 2.4 GHz, d) 1. konum 5 GHz, e) 2. konum 5 GHz, f) 3. konum 5 GHz.

30 cm tuğla duvar özelliği için elde edilen analiz sonuçları duvar kalınlığının etkisini ortaya koymaktadır. Duvar kalınlığı arttığında ışımanın ve alan kuvvetinin azaldığı gözlemlenmektedir.

4.3. 10 cm Beton İçin Sonuçlar

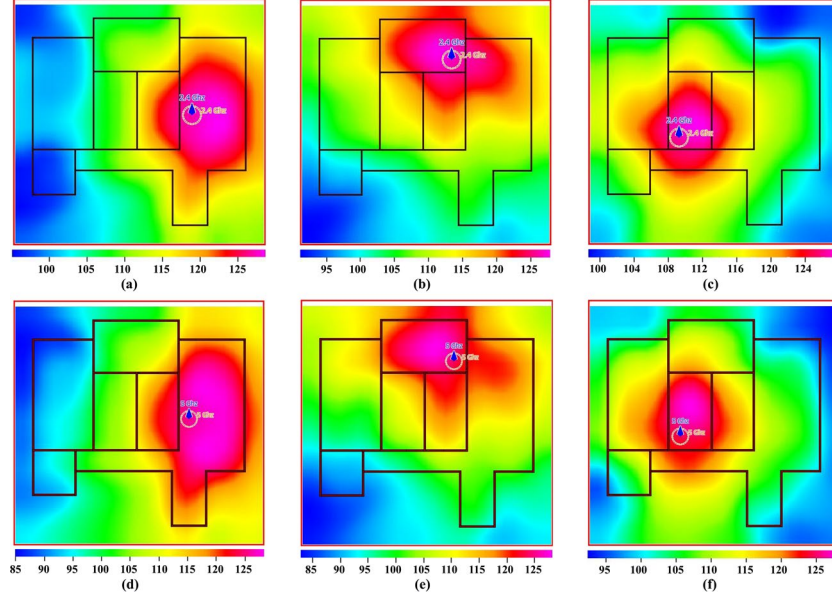


Şekil 14. 3. duvar için alan kuvveti dağılımı [dB uV/m] a) 1. konum 2.4 GHz, b) 2. konum 2.4 GHz, c) 3. konum 2.4 GHz, d) 1. konum 5 GHz, e) 2. konum 5 GHz, f) 3. konum 5 GHz

10 cm beton duvar özelliği için elde edilen analiz sonuçları, 10 cm tuğla için elde edilen analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında betonun ışımasını daha fazla engellediği gözlemlenmiştir.

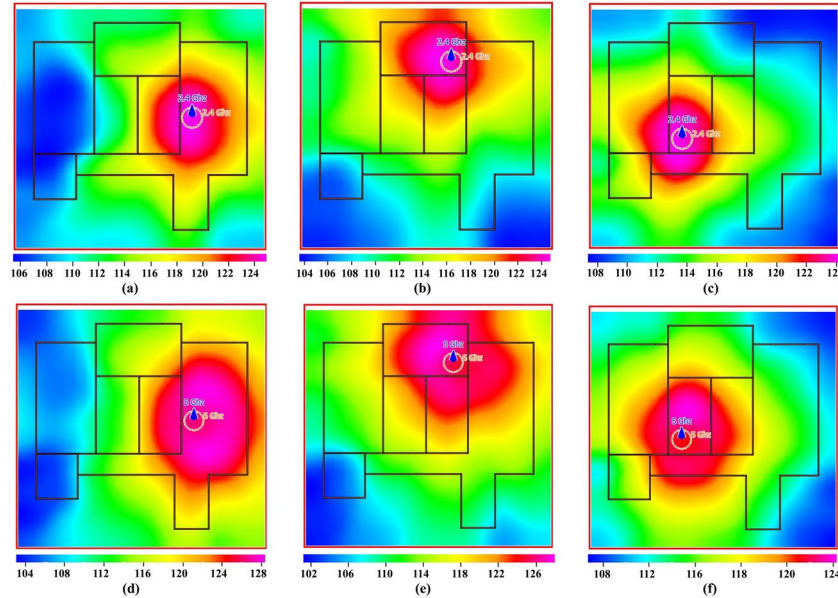
4.4. 10 cm Köpük Beton İçin Sonuçlar

10 cm köpük beton duvar özelliği için elde edilen analiz sonuçlarına bakıldığında aynı kalınlıktaki 10 cm tuğla duvar analizine göre ve aynı kalınlıktaki 10 cm beton duvar analizine göre daha fazla ışımaya izin verdiği gözlemlenmiştir. Konumlandırma açısından değerlendirdiğimizde ise 2. konum tekrar en fazla kapsama alanına sahip konum olarak bulunmuştur. 2. konumda gerçekleştirilen 30 cm tuğla duvar özelliği analizinin 2.4 GHz ışınımı ile 10 cm köpük beton duvar özelliği için 2. konumda gerçekleştirilen analizin 5 GHz ışınımının benzer güç dağılımına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 15. 4. duvar için alan kuvveti dağılımı [dB uV/m] a) 1. konum 2.4 GHz, b) 2. konum 2.4 GHz, c) 3. konum 2.4 GHz, d) 1. konum 5 GHz, e) 2. konum 5 GHz, f) 3. konum 5 GHz.

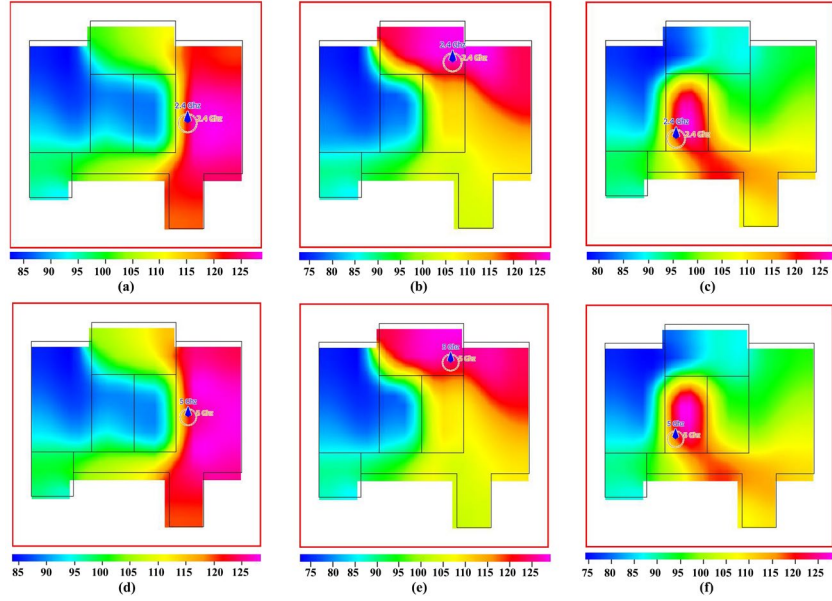
4.5. 10 cm Ahşap İçin Sonuçlar



Şekil 16. 5. duvar için alan kuvveti dağılımı [dB uV/m] a) 1. konum 2.4 GHz, b) 2. konum 2.4 GHz, c) 3. konum 2.4 GHz, d) 1. konum 5 GHz, e) 2. konum 5 GHz, f) 3. konum 5 GHz.

10 cm ahşap duvar özelliği için elde edilen analiz sonuçlarına bakıldığında diğer tüm duvar özelliklerinden daha iyi iletim sağladığını ve her konumda bu iyi iletimin diğer bütün analizlerden daha fazla kapsama alanına sahip olduğu bulunmuştur.

4.6. 5 mm Çelik İçin Sonuçlar



Şekil 17. 6. duvar için alan kuvveti dağılımı [dB uV/m] a) 1. konum 2.4 GHz, b) 2. konum 2.4 GHz, c) 3. konum 2.4 GHz, d) 1. konum 5 GHz, e) 2. konum 5 GHz, f) 3. konum 5 GHz.

10 cm ahşap duvar özelliği analizinin tam tersi olarak 5 mm çelik duvar özelliği analizi incelendiğinde ışınımı en az geçiren duvar malzemesinin çelik olduğu gözlemlenmiştir. Duvar malzemesi olarak bu yapı kullanıldığında 2. konum veya 3. konum kullanışlı gibi gözükse de diğer odalarda kapsama problemi oluşmuştur.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Her bir duvar özelliği için minimum alan gücü Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Minimum alan gücü kıyası.

Min Alan Gücü (dB uV/m)	Duvar 1	Duvar 2	Duvar 3	Duvar 4	Duvar 5	Duvar 6
2.4 GHz İçin	85	65	80	95	104	80
5 GHz İçin	75	30	60	85	102	75

Tüm duvar özellikleri için gerçekleştirilen analizlerin minimum değerlerinin göz önüne alındığında en fazla alan gücünün ahşap özellikteki Duvar 5’te olduğu gözlemlenmiştir. Elektromanyetik alan dağılımı incelendiğinde çelik özellikteki Duvar 6’nın minimum değeri tuğla özellikteki Duvar 2’nin minimum değerinden daha fazla olsa da duvarların sinyali engellemesi Duvar 6’da daha baskındır.

Buna ek olarak grafiksel analizler incelendiğinde 2.4 GHz antenin 5 GHz antene göre daha fazla alanda ışıma yaptığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni frekansın artmasıyla sönümlenmenin de artmasıdır. Bu sebeple aynı güçte ışıma yapan iki anten için düşük frekanslı olanın daha fazla kapsama alanına sahip olduğu gözlemlenmiştir. En etkili konumlandırma, incelenen evin oturma odası göz önünde bulundurulduğunda 2. konumdur. Çünkü 1. konumda yatak odasında az çekim varken, 3. konumda salonda az çekim olacağı görülmektedir. Sağlık açısından değerlendirildiğinde ise yatak odasına en az ışınım yapan konumun seçilmesi daha uygundur. Duvar 1’in kalınlığının artırılıp Duvar 2 olarak analiz gerçekleştirildiğinde ışımanın azaldığı ve çekim alanını olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Duvar 3’ün ışıma özelliği Duvar 1 ile benzer olsa da yapısal özellikten kaynaklı olarak Duvar 3 daha fazla ışımaya engel olmuştur. Duvar 3’ün aksine daha az yoğunluklu yapısı nedeniyle Duvar 4 daha fazla ışımaya izin vermiştir. Duvar 5 ise ahşap özellikte olduğundan bariz bir şekilde en iyi ışımaya sahiptir. Duvar 6 ise en fazla sinyal bloke etkisine sahip duvar özelliği olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak en iyi ışıma ve kapsama alanı için 2. konum seçilmesi önerilmekte olup diğer konumlar için sinyal çoğaltıcı kullanılması önerilmektedir.

Yazar Katkıları

Çalışma kapsamında Hüseyin Tarık NİŞ matematiksel modelleme ve bu modellemenin Altair FEKO üzerinden çeşitli analizlerini gerçekleştirip verilerin kaydedilmesini sağlarken, Mehmet Barış TABAKCIOĞLU elde edilen sonuçların yorumlanması, anten modelinin kurulum yorumlanması ve duvar parametrelerinin tanımlanması ile katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] P. Shanmugaapriyan, H. Chitra, E. Aiswarya, V. Balasubramanian, and S. Ashok Kumar, "A pragmatic approach for effective indoor localization using IEEE 802.11 n", Ad-hoc Networks and Wireless: ADHOC-NOW 2014 International Workshops, ETSD, MARSS, MWaoN, SecAN, SSPA, and WiSARN, pp. 203-216, Benidorm, 2014.
- [2] A. Belay, L. Yen, S. Renu, H. P. Lin, and S. S. Jeng, "Indoor localization at 5GHz using Dynamic machine learning approach (DMLA)", International Conference on Applied System Innovation, pp. 1763-1766, 2017.
- [3] Y. Kaplan, and C. Göçen, "A Dual-Band Antenna Design for 2.4 and 5 GHz Wi-Fi Applications", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, vol. 34, pp. 685-688, 2022.
- [4] Ł. Chruszczyk, A. Zajac, and D. Grzechca, "Comparison of 2.4 and 5 GHz WLAN network for purpose of indoor and outdoor location", International Journal of Electronics and Telecommunications, vol. 62, 2016.
- [5] M. Sibley, "Introduction to electromagnetism", Elsevier., 1995.
- [6] G. Verhoeven, "The reflection of two fields: electromagnetic radiation and its role in (aerial) imaging", AARGnews, vol. 55, pp. 13-18, 2017.
- [7] A.M. Abdelgader, and W. Lenan, "The physical layer of the IEEE 802.11 p WAVE communication standard: The specifications and challenges", World Congress on Engineering and Computer Science, vol. 2, pp. 22-24, 2014.
- [8] I. Alimi, A. Shahpari, A. Sousa, R. Ferreira, P. Monteiro, and A. Teixeira, "Challenges and opportunities of optical wireless communication technologies", Optical Communication Technology, vol. 10, 2017.
- [9] E. Anderson, C. Phillips, D. Sicker, and D. Grunwald, "Modeling environmental effects on directionality in wireless networks", Mathematical and Computer Modelling, vol. 53, pp. 2078-2092, 2011.
- [10] J. McLean, R. Sutton, and R. Hoffman, "Interpreting Antenna Performance Parameters for EMC Applications: Part 2: Radiation Pattern, Gain, and Directivity", TDK RF Solutions Inc.
- [11] L.A. Dorado, and V. Trainotti, "Simplified calculation of ground losses in low-and medium-frequency antenna systems", IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 48, pp. 70-81, 2006.
- [12] K. Pahlavan, and P. Krishnamurthy, "Evolution and impact of Wi-Fi technology and applications: A historical perspective", International Journal of Wireless Information Networks, vol. 28, pp. 3-19, 2021.
- [13] S. Lepaja, , A. Maraj, and S. Berzati, "WLAN planning and performance evaluation for commercial applications", Data-Centric Business and Applications: Evolvments in Business Information Processing and Management, vol. 1, pp. 53-69, 2019.
- [14] J. Wieart, "Radio-Frequency Human Exposure Assessment. From deterministic to Stochastic Methods", John Wiley & Sons, 2016.
- [15] U. Sorgucu, and I. Develi, "Measurement and analysis of electromagnetic pollution generated by GSM-900 mobile phone networks in Erciyes University, Turkey", Electromagnetic Biology and Medicine, vol. 31, no. 4, pp. 404-415, 2012.
- [16] I. Prlić, J. Šiško, V.M. Varnai, L. Pavelić, J. Macan, S. Kobešćak, and S.C. Avdagić, "Wi-Fi technology and human health impact: a brief review of current knowledge", Archives of Industrial Hygiene and Toxicology, vol. 73, no. 2, pp. 94-106, 2022.



Açıklanabilir Yapay Zekaya Dayalı Müşteri Kaybı Analizi ve Elde Tutma Önerisi Explainable AI-Driven Churn Analysis And Retention Recommendation

İbrahim KÖK 

¹Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale/Denizli, Türkiye

ikok@pau.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 16 August 2023

Accepted : 23 October 2023

Keywords:

Churn Analysis, Machine Learning, Explainable Artificial Intelligence, Subscriber Retention

ABSTRACT

In the mobile telecommunications market, subscribers expect high service quality, competitive pricing and improved service. If the customer cannot meet these expectations from the telecom service provider, he chooses to change it. To cope with this situation, service provider operators need interpretable churn prediction models that provide strategic insights by analyzing data on subscribers' communication patterns, behaviors and subscription plans. In this study, churn prediction models based on K-Nearest Neighbour, Decision Tree, Random Forest, Support Vector Machine and Naïve Bayes algorithms are first developed. Then, explainable artificial intelligence methods (ELI5, LIME, SHAP and Counterfactual) are used for the interpretability of the decisions of the most successful model. The experimental results show that the most successful model for subscriber churn detection is Random Forest with an accuracy of 81%. In addition, graphical results were obtained to explain how this algorithm makes decisions according to which features, how and with what accuracy rate. As a result, this study presents an application example of how to make both highly accurate and interpretable decisions in customer churn detection.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 16 Ağustos 2023

Kabul : 23 Ekim 2023

Anahtar Kelimeler:

Müşteri Kaybı Analizi, Makine Öğrenmesi, Açıklanabilir Yapay Zeka, Abone Elde Tutma

ÖZET

Mobil telekomünikasyon pazarında aboneler yüksek hizmet kalitesi, rekabetçi fiyatlandırma ve gelişmiş servis beklentisindedirler. Müşteri bu beklentilerini telekom servis sağlayıcısından karşılayamaması durumunda onu değiştirme yoluna gitmektedir. Hizmet sağlayıcı operatörler abone kaybı olarak nitelendirilen bu durumla başa çıkmak için abonelerin iletişim kalıpları, davranışları ve abonelik planlarına ait verileri analiz ederek stratejik öngörü sağlayan yorumlanabilir müşteri kaybı tahmin modellerine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu çalışmada öncelikle K-En Yakın Komşu, Karar Ağacı, Rastgele Orman, Destek Vektör Makinesi ve Naïve Bayes algoritmalarına dayalı abone kayıp tahmin modelleri geliştirilmiştir. Daha sonra, en başarılı modele ait kararların yorumlanabilirliği için açıklanabilir yapay zeka yöntemleri (ELI5, LIME, SHAP ve Counterfactual) kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar abone kaybının tespitinde en başarılı modelin %81 doğruluk oranıyla Rastgele Orman olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu algoritmanın kararları hangi özelliklere göre, nasıl ve ne kadar doğruluk oranıyla aldığına dair açıklamaları gösterir grafiksel sonuçlar çıkarılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışmada müşteri kaybı tespitinde hem yüksek doğrulukla hem de yorumlanabilir kararların nasıl alınabileceğine ilişkin bir uygulama örneği sunulmuştur.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Son yıllarda, nesnelerin interneti (IoT) ile birlikte mobil teknolojilerin hızla yayılması, dünya genelinde mobil cihaz sayısında büyük bir artışa neden olmuştur. Statista'nın tahminlerine göre, dünya çapında akıllı telefon mobil ağ abonelerinin sayısının 2023 yılında 6,7 milyara ulaşması ve 2028 yılında 7,7 milyarı aşması beklenmektedir [1]. Bu durum, telekomünikasyon sektöründeki servis sağlayıcılar için hem büyük bir fırsat hem de büyük bir zorluk olmuştur. Sektör koşulları değiştiğinden, servis sağlayıcıların yeni müşteri çekme fırsatları artarken, mevcut müşterileri elde tutma zorluğunu aşmaları gerekmektedir. Ancak birçok şirket, doymuş pazarlardan kaynaklanan şiddetli rekabet, dinamik pazar koşulları ve sürekli yeni ticari tekliflerin sunulması nedeniyle önemli bir müşteri kaybı sorunu yaşamaktadır [2]. Dünyada telekomünikasyon sektörünün yıllık müşteri kayıp oranının %20 ila %40 arasında değiştiği ifade edilmektedir. Ayrıca mevcut müşterileri elde tutma maliyetinin yeni müşteri edinme maliyetinden 5-10 kat daha ucuz olduğu vurgulanmaktadır. Bunun yanı sıra müşteri kaybının %5 azaltıldığında kâr'ın %25 ten %85 çıkabildiği ortaya konmuştur [3]. Ayrıca, European Business Review [4] platformu da benzer bir görüşü paylaşmakta ve %2 oranında bir müşteri kayıp oranına sahip bir işletmenin aylık 65 milyon dolara kadar kayıplar yaşayabileceğini öngörmektedir. Bu durum pazar payı oldukça artan telekomünikasyon endüstrisinde rekabet artışını beraberinde getirmiştir [5]. Hizmet sağlayıcı operatörler rekabetçi ve doyuma ulaşmış pazar şartlarında yeni abone edinmenin maliyetinin mevcut bir aboneyi elde tutmadan daha fazla olduğunun farkındadırlar. Bu sebeple operatörler daha iyi servis kalitesi, ucuz tarifeler ve promosyonlarla abone kaybını önleme ve elde tutma stratejisini ön planda tutmaktadır [6]. Ancak abone verilerinin büyük olması, abonelerin operatörde ayrılma nedenlerinin çok değişken olması ve teknolojik gereksinimlerin hızla artması nedeniyle etkin bir müşteri kayıp modeli ve strateji oluşturmak oldukça zordur [7]. Bu ekonomik etki, büyük veriyi yönetme ve analiz etme yeteneği, dinamik değişken pazar koşullarına uyum sağlama konusunda hayati önem taşımaktadır. Veri analizi temelli çözümler, servis sağlayıcılara yeni veri kaynaklarından yararlanma ve müşteri davranışlarını daha derinlemesine anlama fırsatı sunacaktır. Bu veri analizi sayesinde operatörler, müşterilerin ihtiyaçları ve tercihleri konusunda daha öz ve anlamlı bilgileri hızlı şekilde erişebileceklerdir. Ayrıca, müşteri deneyimini iyileştirmek için özelleştirilmiş hizmetler sunma kapasiteleri artırma ve müşteri sadakati sağlama konusundaki yeteneklerini güçlendirme imkanı edineceklerdir [8]. Veri analizi, müşterilerin hangi hizmetlere daha fazla ilgi gösterdiklerini, hangi zamanlarda daha fazla kullanım yaptıklarını ve ne tür kampanyalardan daha fazla etkilendiklerini belirlemelerine yardımcı olacaktır. Bu bağlamda bir diğer önemli husus ise veri analiz sonuçlarının operatör politikası ve kampanyasına dönüşebilmesi için sonuçlarının operatörler tarafından kolaylıkla anlaşılabilir ve yorumlanabilir olması gerekmektedir.

Günümüzde yapay zeka alanının içinde yer alan ML (Machine Learning-ML) ve derin öğrenme algoritmaları mevcut alandaki bir çok sınıflandırma, kümeleme ve tahmin probleminde başarılı sonuçlar elde etmektedir. Ancak bu modeller çoğunlukla kara kutu modeller olarak değerlendirilmektedir [9]. Bu nedenle genellikle model önyargısı, model yapısı ve sonuçlarına ilişkin güven sorunlarına sahiptirler. Mevcut sorunlara çözüm olarak açıklanabilir yapay zeka (Explainable Artificial Intelligence-XAI) alanı geliştirilen yapay zeka sisteminin yüksek öğrenme performansını koruyarak daha açıklanabilir modeller üretmeye odaklanmaktadır. XAI ayrıca paydaşların geliştirilen modeli veya sistemi anlamasını, uygun şekilde güvenmesini ve etkili şekilde yönetmesini sağlayan şeffaf yöntemler çerçevesi sunmaktadır [10]. Bu sayede otomatik karar vermenin olumsuz sonuçlarıyla mücadele etmeleri için bireyleri güçlendirmek, bireylere daha bilinçli seçimler yapmalarında yardımcı olmak, güvenlik açıklarını ortaya çıkarmak ve algoritmaların insani değerlerle bütünleşmek hedeflenmektedir [9, 11].

Bu çalışmada literatürün bu eksikliğine yönelik hem ML algoritmalarına hem de açıklanabilir yapay zeka tekniklerine dayalı olarak etkili çözüm sunmaktadır. Bu bağlamda bu makalenin ana katkıları aşağıda sunulmuştur.

- Telekomünikasyon sektöründe kritik bir konu olan müşteri kaybı probleminde ML modellerine dayalı çözümler sunulmuştur. Bu sayede müşteri kayıp tahmini yüksek doğruluk oranlarıyla tahmin eden k-en yakın komşu, destek vektör makinesi, karar ağacı, rastgele orman ve naive bayes modelleri geliştirilmiştir.
- Geliştirilen ML modellerin etkili şekilde yorumlanabilmesi ve sonuçlarının anlaşılabilirliği için ELI5, LIME, SHAP ve Counterfactual gibi açıklanabilir yapay zeka yöntemleri kullanılmıştır.
- Ek olarak hizmet sağlayıcı operatörlere müşteri kaybını önleyici karşılıksal açıklanabilirlik yöntemine dayalı öneriler sunulmuştur.

Bu çalışmanın ilk bölümünde, mobil telekomünikasyon sektöründe müşteri davranış değişikliği ve müşteri kayıpları hakkında bilgiler verilerek konuya ilişkin literatür bilgisi aktarılmıştır. İkinci bölümde, Telekomünikasyon sektöründe müşteri kaybı tahmine yönelik yapılan çalışmaları ait literatür bilgisi verilmiştir. Üçüncü bölümde, bu çalışmada kullanılan materyal ve metotlara ilişkin teorik bilgiler sunulmuştur. Dördüncü bölümde, deneysel sonuçlar yer verilmiş ve elde edilen uygulama sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde ise çalışma sonuçlandırılmıştır.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında ise telekomünikasyon sektöründe müşteri kaybının tahminine odaklanan güncel literatür çalışmalarına yer verilmiştir.

Kişioğlu ve Topçu [12], Türkiye'deki bir telekomünikasyon şirketi verilerini kullanarak Bayes İnanç Ağına (Bayesian Belief Network) dayalı müşteri kayıp modeli oluşturmuşlardır. Yazarlar modelin sonuçlarını daha anlaşılır hale getirmek için ise ki-kare otomatik etkileşim detektörü, korelasyon analizi, çoklu bağlantı testi ve uzman görüşü gibi yöntemleri ek olarak kullanmışlardır. Müşteri kaybına neden olan değişkenleri ortalama görüşme dakikaları, ortalama fatura tutarı, farklı sağlayıcılardan kişilere arama sıklığı ve tarife türü olarak tespit etmişlerdir. Lu ve arkadaşları [13] ise müşteri kaybı tahmini için öncelikle artırma (boosting) yöntemine dayalı ağırlıklandırma yöntemi kullanmışlardır. Daha sonra logistic regresyon modeline dayalı müşteri kayıp tahmini gerçekleştirmişlerdir. Jung ve arkadaşları [14] veriye dayalı müşteri deyim kalitesini artırarak müşteri kaybını önlemeyi amaçlamışlardır. Özellikle müşteri şikayetleri olasılığını tahmin etmek için rastgele orman, destek vektör makinesi, lasso ve karar ağacı algoritmalarını kullanmışlardır. Bagdi ve arkadaşları [15] telekomünikasyon veri üzerinde destek vektör makinesi ve rastgele orman algoritmasına dayalı müşteri kayıp modelleri geliştirmişlerdir. Geliştirilen modellerin sonuçlarını anlamlandırmak için ise k-ortalama kümeleme, histogram, kutu ve bar grafikleri oluşturmuşlardır. Mitrovic ve arkadaşları [16] müşteri kaybının tespitinde özellik mühendisliğinin önemine dikkat çekmişlerdir. Bu kapsamda kayıp analizinde optimum özellik türü kombinasyonlarını belirlemek için Pareto çok amaçlı optimizasyona dayalı yeni bir metodoloji önermişlerdir. Önerilen metodu kullanarak belirlenen özelliklerle rastgele orman ve lojistik regresyon modeli ile sınıflandırma gerçekleştirmişlerdir. Önerilen metod ve sınıflandırma sonuçlarının müşteri kaybı modellenmesinde kılavuz olabileceğini ortaya koymuşlardır. Caigny ve arkadaşları [17] birçok sektörün temel problemi olan müşteri kaybı tahmini için karar ağaçları ve lojistik regresyon modeline dayalı hibrit logit yaprak modeli (LLM) önermişlerdir. Önerilen modelin temel fikri tüm veri kümesi yerine ağacın her yaprağı üzerindeki veri parçaları üzerinde inşa edilen farklı modeller aracılığıyla tahmin yapmasıdır. Önerilen model finans, enerji, telekom, perakende ve gazete gibi sektörlerden 14 veri seti üzerinde test edilmiş ve karar ağaçları, lojistik regresyon ve rastgele orman modellerinden daha iyi olduğu gösterilmiştir. Cenggoro ve arkadaşları [18] ise müşteri kaybını modellemek için ayırt edici özelliklerin belirlenmesinde gömülü vektörler (vector embedding) modeline dayalı derin öğrenme modellerinin geliştirilmesine odaklanmışlardır. Yazarlar önerdikleri modelle vektörlerin iki boyutlu bir uzayda görselleştirilerek ayrılma ve elde tutulma potansiyeli yüksek olan iki grubu etkili şekilde tespit edebilmişlerdir.

Wu ve arkadaşları [19] telekomünikasyon alanında müşteri kayıp yönetimi için veri ön işleme, keşifsel veri analizi, kayıp tahmini, faktör analizi, müşteri segmentasyonu ve müşteri davranışı analitiği gibi altı bileşeni içeren bir çerçeve önermişlerdir. Önerilen çerçevede müşteri kayıp tahmini için karar ağaçları, rastgele orman, naive bayes, Adaboost ve çok katmanlı algılayıcı modelleri kullanmışlardır. Model sonuçlarına dayalı müşteri kaybının nedenlerinin tespit için faktör analizi ve kümeleme yöntemlerini kullanmışlardır. Shrestha ve Shakya [20] müşteri kaybı tahmini için XGBoost algoritmasının etkinliğini analiz etmeye odaklanmıştır. İki farklı veri seti üzerinde elde edilen sonuçları literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırmışlardır. Deneysel sonuçlarda %97 doğruluk oranı ile XGBoost algoritmasının müşteri kaybı tahmin problemleri için diğer sınıflandırıcılara göre daha iyi sonuçlar üretebildiğini göstermişlerdir. Amin ve arkadaşları [21] telekomünikasyon sektöründe müşteri kayıp tahmini için uyarlanabilir ML'ye dayalı ACCP adında yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Yazarlar önerdikleri yaklaşımda genetik algoritma tabanlı özellik ağırlıklandırma yaklaşımı ile naive bayes algoritmasını kullanarak hibrit bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Önerilen yaklaşım sinir ağları, lineer regresyon, KNN, XGBoost gibi temel sınıflandırıcılarla karşılaştırmışlardır. Bir diğer çalışmada, Saha ve arkadaşları [22] telekom sektöründe müşteri kayıp tahmini için geleneksel sınıflandırma teknikleri (rastgele orman, xgboost, gradyan artırma), topluluk öğrenme teknikleri (lojistik regresyon, karar ağacı, k-en yakın komşu) ve derin öğrenme (yapay sinir ağları) modellerine dayalı kapsamlı çalışma yapmışlardır. Müşteri kayıp tahmininde yapay sinir ağları ve konvolüsyonel sinir ağlarının yaklaşık %98 doğruluk oranıyla diğer modellerden daha iyi olduğunu göstermişlerdir. Prabhadavi ve arkadaşları [23] telekomünikasyon sektöründe müşteri kaybını erken tahmin etmek için optimum ML modelleri geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Bu kapsamda mevcut müşterileri elde tutmak için gösterecekleri tepkileri tahmin etmek için stokastik gradyan güçlendirici, rastgele orman, lojistik regresyon ve k-en yakın komşu algoritmalarını kullanmışlardır.

Ayrıca literatürde bulanık mantık ve teorik modellere dayalı analiz yöntemlerinin de kullanıldığı bazı çalışmalar da bulunmaktadır [24-27]. Tüm literatür incelendiğinde müşteri kaybı analizi ve tahmininde ML, derin öğrenme, veri madenciliği ve istatistiksel yöntemleri dayalı birçok modelin kullanıldığı açıkça görülmektedir. Ancak literatürde yer alan bu modellerin açıklanabilirliğine ve yorumlanabilirliği odaklanan bir çalışma bulunmamaktadır. Özellikle açıklanabilir yapay zeka destekli modellerin olmayışı ele alınan probleme yönelik geliştirilen modelleri anlama ve onlara güven konusunda problem yaratmaktadır. Bazı çalışmalarda açıklanabilirlik için birden çok istatistiksel yöntem (ki-kare, faktör analizi, kümeleme gibi) tercih edilmiş olsa da bunlar alanda ihtiyaç duyulan gereksinimleri karşılamada yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada müşteri kaybı tahmininin açıklanabilir yapay zeka yöntemlerine dayalı çözüm önerisine odaklanılmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde bu makalede kullanılan veriseti, veri ön işleme süreci, ML algoritmaları ve açıklanabilir yapay zeka yöntemlerine yönelik detaylı bilgiler verilmektedir.

3.1. Veri Seti

Bu çalışmada IBM telekomünikasyon şirketine ait 20 özellik ve 7043 satırdan oluşan Telco müşteri veri seti [28] kullanılmıştır. Veri setinde abonelere ait demografik bilgiler, hesap bilgileri ve hizmet bilgileri gibi özellikler yer almaktadır. Veri setinde yer alan özellikler ve açıklamalarına ait kapsamlı bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Telco veriseti özellikleri ve açıklamaları.

Özellik	Açıklama	İçerik
Gender	Cinsiyet	Kadın, Erkek (Female, Male)
SeniorCitizen	Müşterinin kıdemli/emekli/yaşlı olup olmadığı	Evet, Hayır (Yes, No)
Partner	Müşterinin bir ortağı olup olmadığı	Evet, Hayır (Yes, No)
Dependents	Bakmakla yükümlü olduğu kişi olup olmadığı	Evet, Hayır (Yes, No)
Tenure	Müşterinin şirkette kaldığı ay sayısı	Nümerik değer
PhoneService	Müşterinin telefon hizmeti olup olmadığı	Evet, Hayır (Yes, No)
MultipleLines	Müşterinin birden fazla hattı olup olmadığı	Evet, Hayır, Telefon Servisi Yok (Yes, No, No phone service)
InternetService	Müşterinin internet servis sağlayıcısı	DSL, Fiber optik, Hayır (DSL, Fiber optic, No)
OnlineSecurity	Müşterinin çevrimiçi güvenliğinin olup olmadığı	Evet, Hayır, Internet Servisi Yok (Yes, No, No Internet service)
OnlineBackup	Müşterinin online yedeğinin olup olmadığı	Evet, Hayır, Internet Servisi Yok (Yes, No, No Internet service)
DeviceProtection	Müşterinin cihaz korumasına sahip olup olmadığı	Evet, Hayır, Internet Servisi Yok (Yes, No, No Internet service)
TechSupport	Müşterinin teknik destek alıp almadığı	Evet, Hayır, Internet Servisi Yok (Yes, No, No Internet service)
StreamingTV	Müşterinin TV yayını olup olmadığı	Evet, Hayır, Internet Servisi Yok (Yes, No, No Internet service)
StreamingMovies	Müşterinin canlı yayın/film akışı olup olmadığı	Evet, Hayır, Internet Servisi Yok (Yes, No, No Internet service)
Contract	Müşterinin sözleşme süresi	Aydan aya, Bir yıl, İki Yıl (Month-to-month, One year, Two year)
PaperlessBilling	Müşterinin kağıtsız faturası olup olmadığı	Evet, Hayır (Yes, No)
PaymentMethod	Müşterinin ödeme yöntemi	Elektronik çek, Posta çeki, Banka transferi, Kredi Kartı (Otomatik)
MonthlyCharges	Müşteriden aylık olarak tahsil edilen tutar	Nümerik değer
TotalCharges	Müşteriden tahsil edilen toplam tutar	Nümerik değer
Churn	Abone hareketi - Müşteri kaybı	Evet, Hayır (Yes=1, No=0)

3.1. Veri Önleme

Bu çalışmada kullanılan Telco veriseti ML modelleriyle eğitilmeden önce gereksiz verilerin temizlenmesi ve veri dönüşümü (label encoding) süreçlerinden geçirilerek model eğitimine hazırlanmıştır. Ayrıca verisetinin dengesiz olması (yaklaşık %74 churn no, %26 churn yes) nedeniyle eğitim sürecinde veriyi dengeli hale getirmek için örneklem artırma yöntemi SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique) kullanılmıştır. Bu bağlamda dengesiz veri probleminin sonuca etkisini analiz edebilmek için sınıflandırma sonuçları hem dengeli hem de dengesiz veri seti dikkate alınarak ayrı ayrı verilmiştir.

3.2. Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Bu çalışmada odaklanılan müşteri kaybı tahmini için literatürde daha çok ML algoritmalarına yönelik sınıflandırma yaklaşımların kullanıldığı görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada ilgili problemin çözümünde ML modellerine ek olarak açıklanabilir yapay zeka yöntemleri de kullanılmıştır. Bu bölümde öncelikle kullanılan ML modelleri açıklanmıştır. Bu modeller sırasıyla K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbor-KNN), Karar Ağacı (Decision Tree-DT), Rastgele Orman (Random Forest-RF), Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine-SVM) ve Naïve Bayes (NB) algoritmalarıdır. Bu algoritmalara ait özet açıklamalar aşağıda sunulmaktadır.

3.2.1. K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbor-KNN)

KNN algoritması örnek veri noktasını tahmin etmek için özellik benzerliğini kullanan tembel ve non-parametrik bir öğrenme algoritmasıdır. Algoritmanın temel mantığı veriler arası uzaklığa dayanmaktadır. Bir verinin hangi sınıfa dahil olduğuna karar verebilmek için o veriye en yakın “k” adet veriye bakılmaktadır. En çok hangi sınıfa ait veri varsa test verisi de o sınıfa ait kabul edilmektedir. Bu algoritmanın başarısı “k” değerinin seçimine ve uzaklık hesabı için hangi metodun kullanılacağına bağlıdır. Komşuluk sayısı çok az ya da çok fazla seçilirse doğruluk oranı düşebilir. Bu yüzden farklı komşuluk sayıları ile algoritmanın tekrarlanması ve en iyi sonucu veren “k” değerinin bulunması gerekmektedir. Bu algoritmada kullanılan uzaklık metriğinin hesaplanmasında birden

farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlardan en çok bilineni öklid uzaklığıdır. Denetimli ML algoritması olup sınıflandırma ve regresyon problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [29].

3.2.2. Karar Ağacı (Decision Tree-DT)

Karar ağaçları, bağımlı değişken üzerindeki farklılıkların maksimize edilmesi amacıyla veri setinin belirli karar adımlarına göre bölünerek oluşturulan yapılardır. Ağaçtaki her bir nitelik bir düğüm tarafından temsil edilmektedir. Dallar ve yapraklar ağaç yapısının elemanlarıdır. En son yapı *yaprak*, en üst yapı *kök* ve bunların arasında kalan yapılar ise *dal* olarak adlandırılır. Ağaç oluşturulurken dallanma kriteri olarak entropi'ye dayalı, sınıflandırma ve regresyon ağaçları ve bellek tabanlı yaklaşımlar bulunur. Anlaşılır kurallar üretilebilmesi, daha az hesaplama ve sınıflama gerektirmesi, sürekli ve kategorik verilerde kullanılabilmesi karar ağaçlarının avantajları arasında sayılmaktadır. Ancak karar ağaçları eğitim aşamasında hesaplama açısından masraflı olabilir. Sürekli değerleri tahmin için az elverişli olması ve küçük eğitim örneklerinde çeşitli sınıflama problemleri ise dezavantajları olarak verilmektedir [29].

3.2.3. Rastgele Orman (Random Forest-RF)

RF algoritması birden fazla karar ağacını bir araya getirerek daha güvenilir ve doğru sonuçlar üretmeye çalışan topluluk öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritmada her bir karar ağacı, veri kümesinin rastgele bir alt kümesi üzerinde eğitilmekte ve girdi verilerine dayalı olarak birçok karar kuralı oluşturulmaktadır. Ardından, bu ağaçlar tahminlerde bulunmakta ve sonuçlar birleştirilmektedir. RF, karar ağaçlarının bir araya gelerek daha güvenilir tahminler yapmasını sağlayarak overfitting riskini azaltmaktadır. Bu nedenle, genellikle büyük veri setlerinde ve karmaşık veri yapılarında tercih edilen bir algoritmadır [30]. RF özellikle sınıflandırma ve regresyon problemleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.2.4. Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine-SVM)

SVM, verileri yüksek boyutlu uzayda temsil ederek bu verileri ayıran hiper düzlemi (karar sınırı) bulmaya çalışan bir algoritmadır. Hiper düzlemi sınıflar arasındaki marjini maksimize ederek ve destek vektörleri belirleyip onları optimize ederek oluşturmaktadır. SVM, doğrusal, polinom, radyal temel işlev ve sigmoid gibi çekirdekler (kernellere) yardımıyla lineer ve non-lineer sınıflandırmaları etkili şekilde gerçekleştirebilmektedir. Hem çalışma mantığı, yapısı ve performansı açısından özellikle düşük veri durumlarında yüksek hassasiyetle çalışabilmektedir [30].

3.2.5. Naïve Bayes (NB)

NB algoritması bayes teoremine dayalı olarak sonrasal olasılıkları hesaplamakta kullanılan ve rastgele iki olayın koşullu ve marjinal(önsel) olasılıklarını ilişkilendiren istatistiksel sınıflandırma algoritmasıdır. Bu algoritmadaki temel varsayım, veri setindeki özelliklerin koşullu olarak bağımsız olduğudur. Bu durum çok sayıda özelliği işlemesine ve sınırlı eğitim verilerinde iyi çalışmasına imkan sağlamaktadır. Bu algoritmada bir olayın koşullu olasılığını hesaplanırken bu olayın gerçekleştiği bir başka olayın etkisi dikkate alınmaktadır. Örneğin, $P(A|B)$ hesaplaması, $P(B|A)$ ve bağımsız olarak $P(A)$ ve $P(B)$ bilgilerini kullanarak yapılmaktadır.

Bu hesaplama Denklem 1'deki bayes teoremine dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu teorem, özellikle makine öğrenimi ve istatistiksel analiz gibi alanlarda, belirsizlik altında olayların olasılıklarını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır [31].

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

$P(A|B)$; B olayı gerçekleştiği durumda A olayının meydana gelme olasılığını, $P(B|A)$; A olayı gerçekleştiği durumda B olayının meydana gelme olasılığını, $P(A)$ ve $P(B)$; A ve B olaylarının önsel olasılıklarını ifade etmektedir.

3.3. Açıklanabilir Yapay Zeka (Explainable Artificial Intelligence-XAI) Yöntemleri

Yapay Zeka (AI) modellerinin kara kutu yapısı, kullanıcıların bu model tarafından oluşturulan çıktıyı anlamalarına ve bazen bunlara güvenmelerine izin vermez. Yalnızca sonuçların değil sonuçlara giden karar yollarının da kritik olduğu AI uygulamalarında, bu tür kara kutu AI modellerinin kullanıcılar için daha anlaşılır, güvenilir ve şeffaf olması gerekmektedir. Bu noktada Açıklanabilir Yapay Zeka (XAI), AI tabanlı sistem bilgileri ve kararlarının insan tarafından anlaşılabilir ve yorumlanabilir açıklamalarını üreten yaklaşımları, algoritmaları ve araçları incelemekte ve tasarlamaktadır [32]. XAI yapay zeka girdi verilerinin, model ve model sonrası karar verme mekanizmalarının aydınlatılmasını veya ortaya çıkarılmasını amaçlamaktadır [11]. Bu amaca yönelik olarak veri ön işleme aşamasında model geliştirme sürecinde ve model sonuçlarının kullanıcı ve uzman tarafından anlaşılması sürecinde model sonrasında birçok XAI yöntemi kullanılmaktadır. XAI yöntemlerinin temel amacı gelişmiş gerekleştirme, kontrol, iyileştirme ve keşiftir [9].

3.3.1. Yerel Yorumlanabilir Model-agnostik Açıklamalar (Local Interpretable Model-agnostic Explanations-LIME)

Model kararlarının yorumlanabilirliğine odaklanan modelden bağımsız bir yaklaşımdır. Her bir bireysel tahmini açıklamak için herhangi bir kara kutu ML modeline yerel, yorumlanabilir bir modelle yaklaşmayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşımın temelinde girdileri bozarak ve bu durumun modelin çıktılarını nasıl etkilediğini izlemek vardır. Buna göre, örnek veri noktalarını bozarak yeni örnekler oluşturur ve bu örneklerin tahminlerini anlamak için basit bir açıklanabilir model oluşturur. Oluşturulan bu model, orijinal modelin kararlarına benzer tahminler yapar ve bu sayede tahminlerin nedenlerini daha iyi anlamamıza yardımcı olur. LIME, özellikle tıbbi teşhisler, kredi riski değerlendirmeleri gibi kritik uygulamalarda, model kararlarının anlaşılabilirliğini artırmak için etkili bir araç olarak kullanılabilir [33].

3.3.2. SHapley Katkı Açıklamaları (SHapley Additive exPlanations-SHAP)

SHAP yöntemi oyun teorisindeki Shapley değeri olarak bilinen matematiksel kavramı kullanarak özniteliklerin çıktıya katkısını bulmaya odaklanan XAI yöntemidir. Bu yöntemde kullanılan Shapley değeri, özellik uzayındaki tüm olası değerler arasında her bir özellik değerinin ortalama marjinal katkısını ifade etmektedir. SHAP hem global hem de yerel açıklamalarda kullanılabilir. Teorik olarak sağlamdır ancak yüksek boyutlu verilerde Shapley değerini hesaplamak maliyetli olduğunda kullanılması dezavantaj oluşturmaktadır [34].

3.3.3. Beş Yaşındaymışım Gibi Açıkla (Explain Like I'm 5 - ELI5)

Bu yöntem isminde de belirttiği üzere karmaşık ve teknik olarak zor konuları bir çocuğa anlatır gibi basit ve anlaşılabilir şekilde açıklama amacı taşıyan bir yöntemdir. Model parametreleri incelemeye ve modelin genel özellikleri çıkarmada etkili şekilde çalışmaktadır. Ayrıca global ve yerel açıklamalarla modelin tüm veriseti özelinde veya bireysel tahminlerini neden aldığına dair geçerli açıklamalar sağlamaya yardımcı olur [34].

3.3.4. Karşı olgusal açıklama (Counterfactual)

Karşı olgusal (karşıt gerçeklik) açıklama yöntemi bir örnek veri noktasının tahmin sonucunu değiştirmek için gerekli olan değişiklikleri gösteren ve çoklu öneriler sunan XAI yöntemidir. Model çıktısının tahminin tersi durumunda girdi tarafında hangi değişkenlerin ne kadar değişmesi gerektiğine odaklanmaktadır. Örneğin ikili sınıflandırma probleminde model çıktısı 0 olduğu durumda, çıktıyı 1 yapacak girdi değerlerini bizlere sunmaya çalışır. Her örnek uzayı için birden çok karşı olgusal çıktı üretebilmektedir. Burada zorluk karşı olgusal açıklamalardan hangisi olduğudur. Karşı olgusal yöntemler, verilere veya modellere erişim gerektirmez ve makine öğrenimini hiç kullanmayan bir sistemle de çalışabilmektedir [35].

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu bölümde abone kaybı tahmini için geliştirilen ML algoritmaları ve açıklanabilir yapay zeka yöntemlerine ilişkin deneysel sonuçlar ve karşılaştırmalı değerlendirmeler her alt bölümün sonunda sunulmuştur.

4.1. Makine Öğrenmesi Algoritmalarına İlişkin Sonuçlar

Bu çalışmada kullanılan ML modellerinin performansı hem dengeli hem de dengesiz veriseti kullanılarak elde edilmiş ve Tablo 2'de verilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen ML modellerinin tahmin performansını değerlendirmek için kesinlik, duyarlılık, F1-skoru ve doğruluk metrikleri kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan veri setini kullanan literatürdeki diğer çalışmalarla doğruluk metriği açısından karşılaştırma yapılarak Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 2'deki SMOTE yöntemi kullanılmadan dengesiz veriseti (yaklaşık %74 churn no, %26 churn yes) ile yapılan sınıflandırma sonuçları değerlendirildiğinde en başarılı sonuçlar %81, %80, %80 doğruluk oranlarıyla sırasıyla RF, SVM ve DT algoritmaları tarafından elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre abonelerin operatörde kalma ve operatörü terk etme durumu en başarılı belirleyen RF algoritması olmuştur. Bu sonuçta RF algoritmasının birden çok ağaç modelini baz alarak topluluk öğrenme yaklaşıma dayalı olarak çalışması etkili olmuştur.

Diğer taraftan SMOTE yöntemi ile dengeli hale getirilen veriseti sınıflandırma sonuçlarına göre sırasıyla en başarılı modeller %77, %76 ve %75 doğruluk oranlarıyla RF, SVM ve KNN olmuştur. Dengeli veri setinde sınıflandırma başarı oranlarının biraz daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Bu sonucun nedeni, dengesiz veri setlerinde baskın sınıfın daha fazla örneği olduğu için model, baskın sınıfı daha iyi tahmin edebilirken azınlık sınıfı daha zayıf tahmin edebilmektedir. Dengesizlik, azınlık sınıfın doğru tahmin edilmesini zorlaştırabilir. Dengeli bir veri seti, modelin tüm sınıfları daha dengeli bir şekilde tahmin etmesini sağlayabilmekte ve sonucun istatistiksel olarak daha stabil olmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürde aynı veri setini kullanan başka çalışmalarla da karşılaştırılarak sayısal sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. Buna göre [19] referans numaralı çalışmada hem dengesiz hem de dengeli veri setiyle yapılan sınıflandırmalarda en başarılı RF algoritması olmuş ve sırasıyla yaklaşık %79 ve %76 başarı oranları elde

Tablo 2. ML modelleri sınıflandırma sonuçları

Model	Dengesiz Veriseti (Without SMOTE)				Dengeli Veriseti (With SMOTE)			
	Kesinlik (Precision)	Duyarlılık (Recall)	F1-Skoru (F1-score)	Doğruluk (Accuracy)	Kesinlik (Precision)	Duyarlılık (Recall)	F1-Skoru (F1-score)	Doğruluk (Accuracy)
KNN	0.781108	0.794890	0.784278	0.794890	0.754581	0.758694	0.756506	0.758694
DT	0.787835	0.801278	0.790272	0.801278	0.776141	0.748048	0.758004	0.748048
RF	0.799160	0.811214	0.800758	0.811214	0.792074	0.772179	0.779533	0.772179
SVM	0.795421	0.804829	0.798427	0.804826	0.796871	0.765082	0.775375	0.765082
NB	0.782992	0.799148	0.774352	0.799148	0.778779	0.733144	0.747096	0.733144

edilmiştir. [23] referans numaralı çalışmada ise sadece dengesiz veri sonuçları alınmıştır ve en başarılı model yaklaşık %80 doğruluk oranıyla RF algoritması olmuştur. Bizim çalışma sonuçlarımız ise hem dengesiz hem de dengeli veri setinde literatürdeki diğer çalışmalardan daha başarılı sonuçlar ortaya koymuştur. Diğer taraftan hem bizim çalışmamızda hem de diğer çalışmalarda en başarılı algoritma olarak RF algoritması ön plana çıkmıştır.

Tablo 3. Bu çalışmanın literatürdeki çalışmalarla doğruluk metriği açısından karşılaştırılması

Model	Dengesiz Veriseti (Without SMOTE)			Dengeli Veriseti (With SMOTE)		
	Bu çalışma	Wu et al. [19]	Prabadevi et al. [23]	Bu çalışma	Wu et al. [19]	Prabadevi et al. [23]
KNN	0.794890	-	0.77730	0.758694	-	-
DT	0.801278	0.783	-	0.748048	0.767	-
RF	0.811214	0.795	0.80388	0.772179	0.769	-
SVM	0.804826	-	-	0.765082	-	-
NB	0.799148	-	-	0.733144	-	-

- (tire) : İlgili çalışmada gerekli veri bulunmamaktadır.

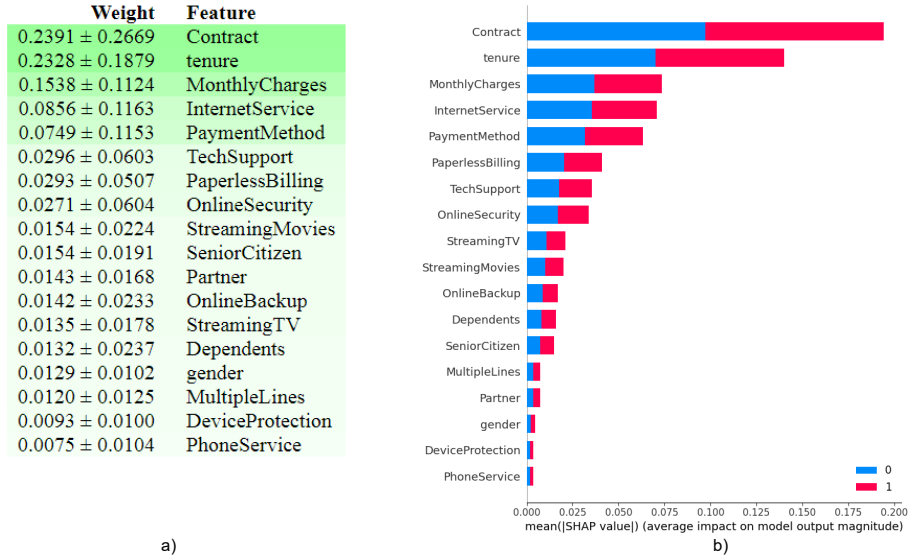
Yukarıdaki bilgiler ışığında literatürde müşteri kaybı tahmininde hem dengeli hem de dengesiz veriler kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda sadece tahmin modeli geliştirilme sonuçları başarı oranları özelinde kıyaslanmaktadır. Bu noktada abonenin sadece operatöründe kalma durumu veya ayrılma durumu tespit etmek abonenin tutulmasına yönelik politika ve kampanya geliştirilmesi için yeterli değildir. Elde edilen sonucun hangi oranda, nasıl ve neden kaynaklandığını tespit etmek kritik önemdedir. Bu nedenle sonraki bölümde RF algoritması sınıflandırma sonuçlarının açıklanabilirliğine ilişkin çalışma sonuçlarına yer verilmiştir.

4.2. Açıklanabilir Yapay Zeka Yöntemleri İlişkin Sonuçlar

Bu bölümde geliştirilen ML modellerinin yorumlanabilirliği için ELI5, LIME ve SHAP yöntemlerini kullanıyoruz. Burada geliştirilen en başarılı sınıflandırma modeli olan RF'ye göre hem global hem de lokal açıklanabilirlik sonuçlarını verilmiştir. Bu kapsamda öncelikle RF modelinin tüm veri seti üzerindeki sınıflandırma kararına etki eden özellikler tespit etmek ve modelin davranışına bütüncül olarak bakmak için ELI5 yöntemiyle global açıklamalar çıkarılmıştır. Elde edilen global açıklamalara çıktılar Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1'teki sonuçlar tüm müşteriler/veri seti bağlamında mobil operatör abonelerin kaybedilmesinde genel olarak etkili olan özellikleri önem sırasına göre vermektedir. Bu bilgilere göre abone kaybına neden olan ilk beş özelliğin sözleşme (contract) süresi, abonenin şirkette kaldığı ay sayısı (tenure), aylık ödeme tutarları (MonthlyCharges), internet servisleri (InternetService) ve ödeme yöntemleri olduğu görülmektedir. İlk iki özellik bağlamında abonelerin durumu detaylı incelendiğinde operatör değiştiren (y=1) abonelerin %88'inin aylık sözleşmeler kullandığı ve bir operatörde yaklaşık ortalama 17 ay kaldığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan operatörüne sadık kalan abonelerin ise yaklaşık %57 sinin bir yıl ve üzeri sözleşmeye sahip olduğu ve operatöründe kalma süresi ortalama 38 ay olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan sözleşme sürelerinin uzun ve aylık ücretlerin düşük tutulması aboneleri operatöre bağlı tutacağı yorumu çıkarılabilir. Bunların dışında internet servisleri, ödeme yöntemleri ve teknolojik destek gibi diğer bileşenlerinde abonelere sağlanması müşteri kaybını önlemede etkili olduğu sonucu çıkarılabilir.

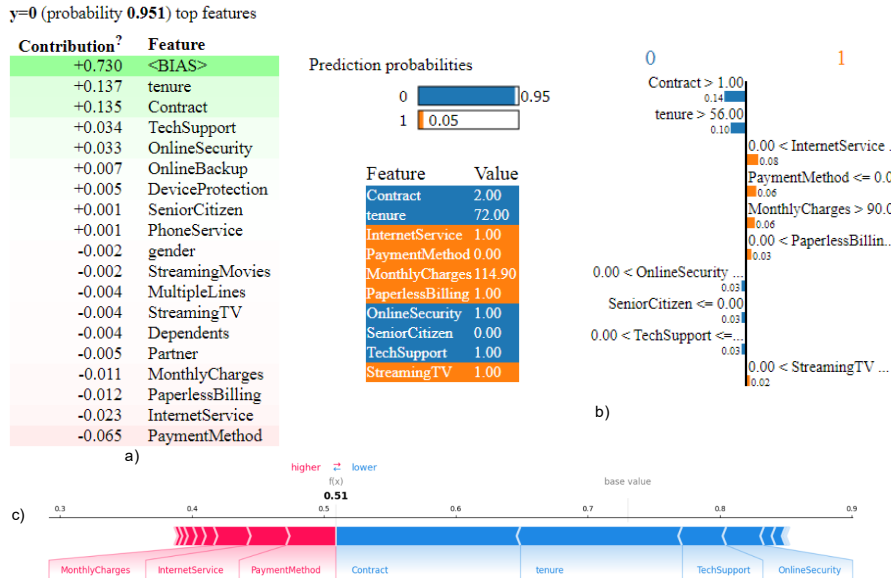
Global açıklamalar tüm aboneler bağlamında genel politikalar üretmede yardımcı olurlar. Ancak günümüzde aboneleri operatöre bağlamak için müşteri spesifik kampanya ve seçenekler sunmak kritik önemdedir. Bu nedenle her bir müşterinin tercihlerini anlamak ve ihtiyaçlarına yönelik açıklama getirmek gerekmektedir. Bu bağlamda veri setinden biri operatöre bağlı/ayrılmayan (y=0), diğeri operatörden ayrılan (y=1) olmak üzere iki örnek seçilmiştir. Seçilen bu iki örnek aboneye ait verilerin lokal açıklamaları Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 2'de RF modelimizin %95 olasılıkla sonucu 0 yani mobil operatörden ayrılmayan olarak tahmin ettiği bir abonenin ELI5, LIME ve SHAP yöntemlerine dayalı lokal açıklanabilirlik sonuçları yer almaktadır. Bu arada her üç yöntemin de benzer çıktılar ürettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 1. RF modelinin ELI5 ve SHAP yöntemleriyle global açıklanabilirliği (a. ELI5 yöntemi global açıklama, b. SHAP yöntemi global açıklama).

Buna göre ilgili abonenin operatörde kalmasında sözleşme (contract) süresi, abonenin şirkette kaldığı ay sayısı (tenure), teknikdestek (TechSupport), online güvenlik (OnlineSecurity) gibi seçeneklerin öncelikle etkili olduğu görülmektedir. Detaylı veri analizinde bu abonenin iki yıllık sözleşmesi olduğu ve operatörde 72 aydır bulunduğu görülmektedir. Bu bağlamda müşterinin sözleşme süresine bağlı kaldığı ve verilen teknik hizmet ve güvenlikten memnun olduğu için operatöre bağlılık gösterdiği söylenebilir. Şekil 3’de ise RF modelinin %79 olasılıkla sonucu 1 yani mobil operatörden ayrılan olarak tahmin ettiği bir abonenin ELI5, LIME ve SHAP yöntemlerine dayalı lokal açıklanabilirlik sonuçları yer almaktadır.

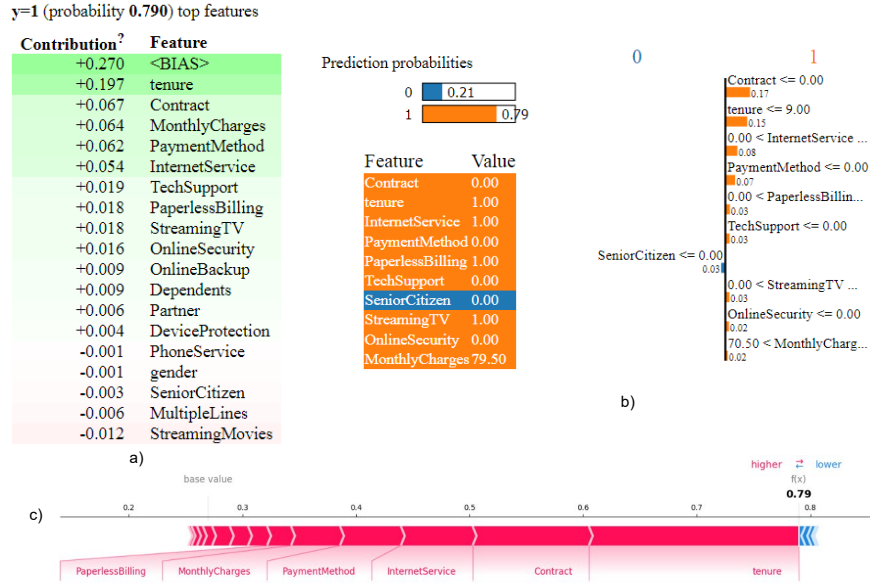
Şekil 3’teki sonuçları incelendiğinde abonenin operatörden ayrılmasında en etkili olan iki özellik sözleşme (contract) süresi, abonenin şirkette kaldığı ay sayısı (tenure) olarak tespit edilmiştir. Diğer özellikler ise sırasıyla aylık ödeme miktarı (MontlyCharges), ödeme yöntemi (PaymentMethod) ve internet servisi (InternetService) olarak devam etmektedir. Detaylı veri analizinde bu abonenin ise aylık/aydan aya (taahütsüz) olarak devam ettiği ve mevcut operatörde 1 aydır bulunduğu görülmüştür. Bu bilgilerden hareketle müşterinin taahhütsüz aylık ödeme planını tercih etmesi, aylık ücretin yüksek olması, ödeme yöntemi ve internet servislerinden kaynaklı memnuniyetsizliği nedeniyle operatör değişikliği yaptığı sonucu çıkarılabilir.



Şekil 2. RF modelinin ELI5, LIME ve SHAP yöntemleriyle churn olmayan/bağlı bir müşteriye ait lokal açıklanabilirlik (a. ELI5 lokal açıklama, b. LIME lokal açıklama, c. SHAP lokal açıklama).

Elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde abonelerin kullandıkları operatörlerde kalma ve operatörü terk etme davranışlarında sözleşme süresi, operatörde kalma süreleri, aylık ücretler, internet servisleri, teknik destek

ve güvenlik gibi kriterler belirleyici etken olarak tespit edilmiştir. Geliştirilen ML algoritmalarının hem global hemde lokal sonuçları bu çıkarımı doğrulamıştır. Bu çalışma sayesinde benzer problemlerin çözümünde sadece ML yaklaşımıyla müşterinin operatörü terk edip etmesi değil, aynı zamanda sonucun neden kaynakladığına ilişkin çıkarımlar elde edilmiştir. Özellikle açıklanabilir yapay zekaya dayalı yöntemler sonuçların yorumlanabilir ve anlaşılabilir olmasına katkı sağlamıştır.



Şekil 3. RF modelinin ELI5, LIME ve SHAP yöntemleriyle churn olan/kaybedilen bir müşteriye ait lokal açıklanabilirlik (a. ELI5 lokal açıklama, b. LIME lokal açıklama, c. SHAP lokal açıklama).

Yukarıda verilen global ve lokal açıklamalar modelin genel ve tek bir örnek bağlamında verdiği sonuçlar göstermektedir. Ancak hizmet sağlayıcılar müşterileri bireysel bazlı olarak elde tutmak için onlara spesifik promosyon ve teklifler sunmak isterler. Bu sebeple her abone özelinde onları yönlendirecek bir takım önerilere ihtiyaç duyarlar. Bu noktada karşılığusal açıklamalar ilgili ihtiyaca yönelik öneriler sunarlar. Bu bağlamda operatörden ayrılmış (churn=1) bir örnek (Şekil 3'te kullanılan örnek verinin aynısı) için karşı olgusal açıklamalar Tablo 4'te verilmiştir. Tabloda seçilen örnek veriyi RF modeli 1 olarak yani operatörü terk etmiş olarak sınıflandırmıştır. Buna göre karşı olgusal açıklama yöntemiyle bu örneğe en yakın operatörden ayrılmamış dört abone tespit edilmiştir. Bu bilgilere seçilen abonenin operatörü terk etmemesi için karşılığusal alanda kendinden farklı (kırmızı ile işaretli daire içinde yer alan) özelliklerini tespit etmek ve ayrılan aboneye onlara benzer seçenekler (kampanya, politika, promosyon vb) önermek gerekmektedir. Tablodaki örnek değerlendirildiğinde bu abonenin operatörde kalma süresinin (tenure) artırılmasına yönelik opsiyonlar, internet servisinde kısıtlama, televizyon yayını önerme, sözleşme süresini bir yıla çıkarma ve fatura ödeme yöntemini banka transferi şeklinde yapmasına imkan sağlayan opsiyonlar önerilebilir. Bunlarda uygun olan seçenekler abonenin operatörde kalması sağlayabilir.

Tablo 4. Hizmet sağlayıcı operatörü terk etmiş müşteriye ait karşılığusal açıklamalar.

Abone Özellikleri	gender	SeniorCitizen	Partner	Dependents	tenure	PhoneService	MultipleLines	InternetService	OnlineSecurity	OnlineBackup	DeviceProtection	TechSupport	StreamingTV	StreamingMovies	Contract	PaperlessBilling	PaymentMethod	MonthlyCharges	Churn
	Seçilen Örnek	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	79,5
Counterfactual-1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	80	0
Counterfactual-2	1	0	0	0	11	1	0	2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	80	0
Counterfactual-3	1	0	0	0	33	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	2	80	0
Counterfactual-4	1	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	1	0	1	1	0	80	0

Tablodaki değerlere ilişkin açıklamalar: Tenure: 0-72 ay aralığında değişmektedir. InternetService(0:DSL, 1: FiberOptik, 2: No Service), StreaminTV (0: STV No, 1: STV Yes), Contract (0:Aydan aya 1: bir yıllık 2: iki yıllık) PaymentMethod (0: Elektronik çek, 1:Posta çeki 2: Banka transferi 3: Kredi kartı)

5. SONUÇ

Bu makale mobil telekomünikasyon sektöründeki müşteri kaybı problemine farklı bir perspektif getirmekte ve çözüm sunmaktadır. Bu bağlamda, k-en yakın komşu, destek vektör makinesi, karar ağacı, rastgele orman ve naive bayes gibi makine öğrenimi modelleri geliştirilerek bu modellerin müşteri kaybı tahminlerinde yüksek doğruluk sağladıklarını gösteriyoruz. Bunun yanı sıra, ELI5, LIME, SHAP ve Counterfactual açıklanabilir yapay zeka yöntemleriyle geliştirilen modellerin sonuçlarını hem uzman hem de aboneler anlaşılır ve yorumlanabilir hale getiriyoruz. Bu bulgular, hizmet sağlayıcı operatörlere müşteri davranışlarını daha derinlemesine anlayarak, stratejik kararlar alabilme yeteneği sunmaktadır. Bu çalışmanın en önemli katkılarından biri, hizmet sağlayıcı operatörlere müşteri davranışlarını kapsamlı bir şekilde analiz ederek, müşteri kaybını azaltıcı tedbirler alabilmelerine rehberlik etmektir. Literatürde müşteri kaybını tahmin eden ML modellerinin geliştirilmesini içeren çalışmalar bulunmaktadır. Ancak bu çalışmalar geliştirilen modellerin kararlarına ilişkin açıklamalar ve yorumlanabilirlik sunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmanın literatüre katkısı geliştirilen ML modellerinin açıklanabilir yapay zeka yöntemleriyle desteklenmesidir. Bu sayede, çalışma daha şeffaf ve yorumlanabilir karar süreci sunarak kullanıcıların tahmin modeline ve verilen kararlara olan güvenini artırmaktadır. Diğer taraftan bu çalışmada geleneksel ML algoritmalarına yönelik çalışmalar sunulmuş olması ve model sayısının sınırlı olması bir sınırlılık olarak değerlendirilebilir. Bu bağlamda hem model sayısı hem de daha yüksek doğruluk oranları için derin öğrenme tabanlı modellerin kullanılması gelecek çalışmalar açısından faydalı olacaktır. Sonuç olarak, bu araştırma, telekomünikasyon sektöründeki müşteri kaybı sorununun açılmasında açıklanabilir yapay zeka destekli çözümlerin değerli bir katkı sağlayabileceğini açıkça göstermektedir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan model ve yöntemler telekomünikasyon sektöründeki aktörlerin rekabet avantajını elde etmelerine ve sürdürmelerine ilişkin önemli bir gelecek projeksiyonu sunmakta ve müşteri kaybını azaltma potansiyelini ortaya koymaktadır.

Yazar Katkıları

İbrahim Kök: Makalenin kapsamı, yöntemi, araştırmanın uygulanması, sonuçların değerlendirilmesi ve makalenin yazımının tamamına katkı sağlamıştır.

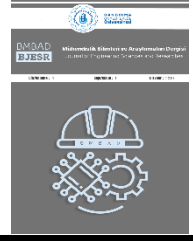
Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKÇA

- [1] P. Taylor, "Number of smartphone mobile network subscriptions worldwide from 2016 to 2022, with forecasts from 2023 to 2028"i 2023. [Çevrimiçi] Erişim:<https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/>
- [2] K. Coussement, S. Lessmann, and G. Verstraeten, "A comparative analysis of data preparation algorithms for customer churn prediction: A case study in the telecommunication industry", *Decis Support Syst*, vol. 95, pp. 27-36, 2017.
- [3] T. Xu, Y. Ma, and K. Kim, "Telecom churn prediction system based on ensemble learning using feature grouping," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 11, p. 4742, 2021.
- [4] The European Business Review, "How costly is customer churn in the telecom industry, the European business review", [Çevrimiçi]. Erişim:<https://www.europeanbusinessreview.com/how-costly-is-customer-churn-in-the-telecom-industry/>
- [5] E. Yeboah-Asiamah, B. Narteh, and M.A. Mahmoud, "Preventing Customer Churn in the Mobile Telecommunication Industry: Is Mobile Money Usage the Missing Link?", (in English), *J Afr Bus*, vol. 19, no. 2, pp. 174-194, 2018.
- [6] H. Li et al., "Enhancing Telco Service Quality with Big Data Enabled Churn Analysis: Infrastructure, Model, and Deployment," (in English), *J Comput Sci Tech-Ch*, vol. 30, no. 6, pp. 1201-1214, Nov 2015.
- [7] H. Li, D. L. Yang, L. L. Yang, Y. Lu, and X. L. Lin, "Supervised Massive Data Analysis for Telecommunication Customer Churn Prediction," (in English), *Proceedings of 2016 Ieee International Conferences on Big Data and Cloud Computing (Bdcloud 2016) Social Computing and Networking (Socialcom 2016) Sustainable Computing and Communications (Sustaincom 2016) (Bdcloud-Socialcom-Sustaincom 2016)*, pp. 163-169, 2016.
- [8] M.Z. Kastouni and A. Ait Lahcen, "Big data analytics in telecommunications: Governance, architecture and use cases," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 34, no. 6, pp. 2758-2770, 2022.
- [9] S. Ali et al., "Explainable Artificial Intelligence (XAI): What we know and what is left to attain Trustworthy Artificial Intelligence," *Inform Fusion*, vol. 99, p. 101805, 2023.
- [10] A. Barredo Arrieta et al., "Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI," *Inform Fusion*, vol. 58, pp. 82-115, 2020/06/01/2020.
- [11] İ. Kök, Y.F. Okay, Ö. Muyanlı, and S. Özdemir, "Explainable Artificial Intelligence (XAI) for Internet of Things: A Survey," *Ieee Internet Things*, vol. 10, no. 16, pp. 14764-14779, 2023.
- [12] P. Kisioglu and Y.I. Topcu, "Applying Bayesian Belief Network approach to customer churn analysis: A case study on the telecom industry of Turkey," (in

- English), *Expert Syst Appl*, vol. 38, no. 6, pp. 7151-7157, Jun 2011.
- [13] N. Lu, H. Lin, J. Lu, and G. Zhang, "A customer churn prediction model in telecom industry using boosting," *Ieee T Ind Inform*, vol. 10, no. 2, pp. 1659-1665, 2012.
- [14] H. Jung, J. Mo, and J. Park, "A Data-Driven Customer Quality of Experience System for a Cellular Network," (in English), *Mob Inf Syst*, vol. 2017, 2017.
- [15] M. Bagri, J.K. Singh, M.K. Abhilash, R.S. Sunitha, and S. Kumar, "Churn Analysis in Telecommunication Industry," (in English), 2018 International Conference on Automation and Computational Engineering (Icace), pp. 126-132, 2018.
- [16] S. Mitrović, B. Baesens, W. Lemahieu, and J. De Weerd, "On the operational efficiency of different feature types for telco Churn prediction," *European Journal of Operational Research*, vol. 267, no. 3, pp. 1141-1155, 2018.
- [17] A. De Caigny, K. Coussement, and K.W. De Bock, "A new hybrid classification algorithm for customer churn prediction based on logistic regression and decision trees," *European Journal of Operational Research*, vol. 269, no. 2, pp. 760-772, 2018.
- [18] T.W. Cenggoro, R.A. Wirastari, E. Rudianto, M.I. Mohadi, D. Ratj, and B. Pardamean, "Deep learning as a vector embedding model for customer churn," *Procedia Computer Science*, vol. 179, pp. 624-631, 2021.
- [19] S.L. Wu, W.C. Yau, T.S. Ong, and S.C. Chong, "Integrated Churn Prediction and Customer Segmentation Framework for Telco Business," (in English), *Ieee Access*, vol. 9, pp. 62118-62136, 2021.
- [20] S.M. Shrestha and A. Shakya, "A Customer Churn Prediction Model using XGBoost for the Telecommunication Industry in Nepal," *Procedia Computer Science*, vol. 215, pp. 652-661, 2022.
- [21] A. Amin, A. Adnan, and S. Anwar, "An adaptive learning approach for customer churn prediction in the telecommunication industry using evolutionary computation and Naïve Bayes," *Applied Soft Computing*, vol. 137, 2023.
- [22] L. Saha, H.K. Tripathy, T. Gaber, H. El-Gohary, and E.-S. M. El-kenawy, "Deep churn prediction method for telecommunication industry," *Sustainability-Basel*, vol. 15, no. 5, p. 4543, 2023.
- [23] B. Prabadevi, R. Shalini, and B.R. Kavitha, "Customer churning analysis using machine learning algorithms," *International Journal of Intelligent Networks*, vol. 4, pp. 145-154, 2023.
- [24] M. Mannan, M.F. Mohiuddin, N. Chowdhury, and P. Sarker, "Customer satisfaction, switching intentions, perceived switching costs, and perceived alternative attractiveness in Bangladesh mobile telecommunications market," (in English), *S Asian J Bus Stud*, vol. 6, no. 2, pp. 142-160, 2017.
- [25] T. Lupo and S.A. Delbari, "A knowledge-based exploratory framework to study quality of Italian mobile telecommunication services," *Telecommun Syst*, vol. 68, no. 1, pp. 129-144, 2018.
- [26] X. Zeng, Y. Wu, and Y. Tang, "Definition of Misclassification Cost & Redistribution Strategy of Telecom Churn Analysis," (in English), 2008 International Conference on Apperceiving Computing and Intelligence Analysis (Icacia 2008), pp. 31-33, 2008.
- [27] J. H. Ahn, S.P. Han, and Y.S. Lee, "Customer churn analysis: Churn determinants and mediation effects of partial defection in the Korean mobile telecommunications service industry," *Telecommun Policy*, vol. 30, no. 10-11, pp. 552-568, 2006.
- [28] IBM. Telco Customer Churn Dataset. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.kaggle.com/blastchar/telco-customer-churn>
- [29] G. Bonaccorso, *Machine Learning Algorithms: Popular algorithms for data science and machine learning*, Packt Publishing Ltd, 2018.
- [30] M. Mohammed, M. B. Khan, and E. B. M. Bashier, *Machine learning: algorithms and applications*. 1st Edition, Boca Raton, USA, Crc Press, 2016.
- [31] K. P. Murphy, *Machine learning: a probabilistic perspective*. Cambridge, London, UK, MIT press, 2012.
- [32] U. Kamath and J. Liu, *Explainable artificial intelligence: An introduction to interpretable machine learning*, 1st Edition, Switzerland, AG, Springer Cham, 2021.
- [33] S.K. Jagatheesaperumal, Q.-V. Pham, R. Ruby, Z. Yang, C. Xu, and Z. Zhang, "Explainable AI over the Internet of Things (IoT): Overview, state-of-the-art and future directions," *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2022.
- [34] A. Bhattacharya, *Applied Machine Learning Explainability Techniques: Make ML models explainable and trustworthy for practical applications using LIME, SHAP, and more*, Packt Publishing Ltd, 2022.
- [35] S.R. Islam, W. Eberle, S.K. Ghafoor, and M. Ahmed, "Explainable artificial intelligence approaches: A survey," *arXiv preprint arXiv:2101.09429*, 2021.



Estimating Solar Energy within the scope of environmental factors by the Neural Network Algorithm

Sinir ağı algoritması ile çevresel faktörler kapsamında Güneş Enerjisinin tahmin edilmesi

¹Yasemin AYAZ ATALAN

¹Yozgat Bozok University, Faculty of Engineering and Architecture, 66000, Yozgat, Türkiye

yasemin.ayaz@yobu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 17 October 2023

Accepted : 12 December 2023

Keywords:

Machine Learning, Neural Network Algorithm, Solar Energy, Environmental Factors

ABSTRACT

The efficiency of solar energy systems requires a complicated forecasting process due to the variability of sunlight and environmental conditions. Among environmental factors, cloud coverage (% range), temperature ($^{\circ}\text{C}$), wind speed (Mph), and humidity (%) variables were taken into account in this study. Neural networks (NN), which are machine learning (ML) algorithms with a flexible structure that can define complex relationships and process large amounts of data for solar energy prediction, were used in this study. The NN algorithm showed a high performance, with mean square error (MSE), root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), and R-squared (R^2) values calculated as 0.019, 0.139, 0.053, and 0.977, respectively. This study emphasized that solar energy predictions made with the NN algorithm, considering environmental factors, are an essential tool that helps use solar energy systems more efficiently and sustainably.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 17 Ekim 2023

Kabul : 12 Aralık 2023

Anahtar Kelimeler:

Makine Öğrenimi, Sinir Ağı Algoritması, Güneş Enerjisi, Çevresel Faktörler

ÖZET

Güneş enerjisi sistemlerinin verimliliği, güneş ışığının ve çevre koşullarının değişkenliği nedeniyle karmaşık bir tahmin süreci gerektirmektedir. Bu çalışmada çevresel faktörlerden bulut kapsamı (% aralık), hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), rüzgar hızı (Mph) ve bağıl nem (%) değişkenleri dikkate alınmıştır. Bu çalışmada güneş enerjisi tahmini için karmaşık ilişkileri tanımlayabilen ve büyük miktarda veriyi işleyebilen esnek yapıya sahip makine öğrenmesi (ML) algoritmalarından sinir ağı (NN) kullanılmıştır. NN algoritması, ortalama kare hatası (MSE), kök ortalama kare hatası (RMSE), ortalama mutlak hatası (MAE), ve R-kare (R^2) değerleri sırasıyla 0,019, 0,139 0,053 ve 0,977 olarak hesaplanarak yüksek bir performans göstermiştir. Bu çalışmada, çevresel faktörler dikkate alınarak NN algoritması ile yapılan güneş enerjisi tahminlerinin, güneş enerjisi sistemlerinin daha verimli ve sürdürülebilir kullanılmasına yardımcı olan önemli bir araç olduğu vurgulanmıştır.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. INTRODUCTION

Solar energy, a renewable energy source, is growing in significance within the energy production sector and offers substantial potential for environmental sustainability [1]. Solar energy is an environmentally friendly energy source [2]. Greenhouse gases produced by burning fossil fuels cause serious problems such as global climate change and air pollution [3] [4]. On the other hand, solar energy can produce clean electricity that does not harm the environment [5]. Therefore, solar energy supports environmental protection efforts by helping reduce the carbon footprint [6].

The source of solar energy is unlimited and abundant worldwide [7]. The sun sends a tremendous amount of energy to the Earth every day, and only a tiny part of this energy is used by humans [8]. This is a great advantage in terms of the sustainability of energy supply. Solar energy provides long-term energy security compared to energy production based on limited resources such as fossil fuels [9]. Solar energy is also an economically competitive option. With technological advances and large-scale production, solar panels and energy storage systems are becoming more accessible and cost-effective [10]. This helps individuals, businesses, and governments reduce energy costs and achieve energy independence by using solar energy. For all these reasons, solar energy is becoming an increasingly preferred energy source worldwide. Being clean, unlimited, and economically attractive, solar energy increases its role in energy production and becomes an essential driving force in achieving environmental sustainability goals [11].

Solar energy and artificial intelligence (AI) have a strong relationship between the two fields, creating significant collaboration in the energy sector [12]. AI is an essential tool to increase the efficiency of solar energy structures, make predictions, optimize maintenance, and manage energy production more sustainably [13]. In particular, AI-based forecasting models can predict solar energy production more precisely by analyzing sunlight levels, weather conditions, and other factors that affect energy production [14]. It can also increase the operational continuity of systems by using sensors and AI to monitor the maintenance of solar panels and detect failures in advance. In this way, solar energy and AI support the energy transition by providing a more efficient and reliable path for clean and sustainable energy production [15].

The relationship between solar energy and machine learning (ML) algorithms creates a vital collaboration to increase the efficiency of solar energy plants, optimize energy production, and make energy management more sustainable [1]. ML algorithms analyze various variables that affect solar energy production, offering the ability to predict sunlight levels, weather conditions, location of panels, and other environmental factors [16]. These forecasts provide valuable information to energy producers and distributors to optimize the performance of solar energy systems and better manage energy demand. Additionally, ML can be used to monitor the maintenance of solar systems, detect failures in advance, and improve system efficiency [17]. In this way, solar energy and ML contribute to more effective, clean, and sustainable energy production, increasing energy efficiency and promoting environmental sustainability.

Artificial neural networks (ANNs), a subset of ML algorithms, have a significant impact on the field of solar energy. The complexity of solar energy systems and environmental variability make it difficult to predict solar energy production [18]. The NN algorithm offers an effective tool for predicting and optimizing solar energy production with its ability to process large amounts of data and model complex relationships [19]. This algorithm, which can include environmental factors such as sunlight levels, weather conditions, and cloud cover, as well as system features such as the location and tilt of solar panels, allows for more precise predictions. This offers a solar energy system that is both more dependable and efficient for energy producers, grids, and consumers. The NN algorithm emerges as a crucial instrument for enhancing the efficiency of solar energy systems and advancing the production of clean energy [20].

The NN algorithm should be used for solar energy because solar energy systems operate complexly under the influence of environmental variations, and traditional methods cannot fully address the efficiency and predictability of these systems [21]. With its ability to process large amounts of data, the NN algorithm can more precisely predict solar energy production by considering sunlight levels, weather conditions, cloud cover, and other environmental factors [19]. The NN algorithm also helps optimize energy production by modeling system features such as the location and tilt of solar panels. This situation contributes to reducing energy costs while increasing the efficiency of solar energy systems, promoting clean and sustainable energy production. Therefore, the NN algorithm may be the key to a more reliable and efficient future in the solar energy industry. A study reveals that a NN-based tool developed to estimate the amount of solar energy produced by photovoltaic generators addresses the control complexity in solar energy systems and has the potential to optimize future energy production [18]. Another study created complex non-linear models using neural networks, emphasizing the importance of using a range of predictions that include uncertainty rather than typically a single prediction for renewable energy predictions [22].

One of the most important contributions of this study to the literature and the industry is to create a model by creating an NN model in ML algorithms, which is reliable among prediction models. This study, which considers weather parameters, has resulted in the emergence of a manageable system in the installation phase or in calculating the energy amounts of installed solar power plants. The ability to learn complex relationships and patterns by analyzing large amounts of meteorological data in this study is provided by the NN algorithm. Thanks to their ability to analyze real-time data, NN algorithms can quickly adapt to changes in weather conditions and

allow solar energy systems to be managed more effectively. This study is planned to contribute to the development of more precise and reliable prediction models in the field of solar energy, leading to significant advances in energy planning and sustainable energy use.

This study consists of four main sections. Information about the importance of solar energy, one of the renewable energy types, its advantages, the factors that affect it, and the place of the method used in this study in the literature are discussed in the first part of the research. The second section provides details on the methods employed in the study, followed by a discussion of the study's statistical and numerical findings in the third section. The final section presents overarching remarks regarding the scientific contributions of this research.

2. METHODOLOGY

This study aims to create an NN model from ML algorithms, taking into account environmental factors, to calculate the amount of solar energy production within the scope of renewable energy. ML makes significant contributions to making predictions about future solar radiation and weather conditions by analyzing various meteorological data. The most important reason for using this method is that ML algorithms allow more effective planning and management of solar energy systems. Solar energy is an energy source that can fluctuate depending on atmospheric conditions, so predicting how long and how intense the sun's rays will be is critical for optimizing energy production and increasing the efficiency of solar energy systems. By processing large data sets, ML reveals complex patterns, which helps predict solar energy production more accurately. Publicly available data on solar energy amounts and environmental inputs were used in the present research [23]. The flow chart of the techniques used in the methodology of this study is visualized in Figure 1.

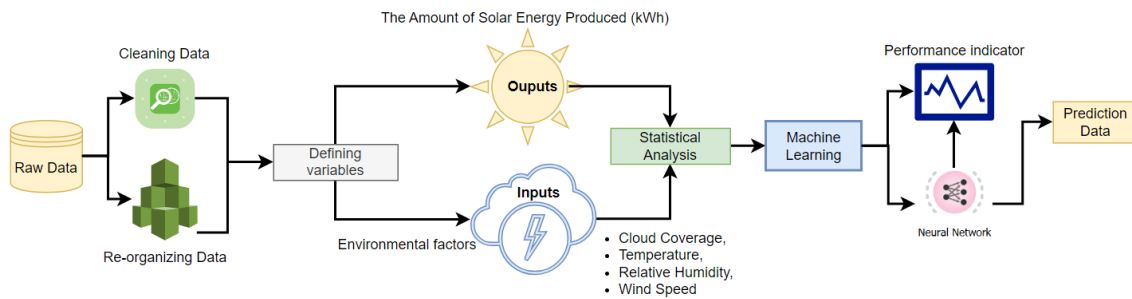


Figure 1. The visual representation outlining the methodological process.

This study has a three-step method. The first step involves pre-examination of the study data. The second step of the method includes defining variables and statistical analysis. In the last step of the method, prediction data was obtained by running the model of the ML algorithm.

2.1. Data of Study and Descriptive Statistics

This research treats the quantity of solar energy as the dependent variable, while it characterizes the independent variables as environmental factors influencing the solar energy amount. The statistical properties of six variables (Cloud Coverage, Temperature, Relative Humidity, Wind Speed, and Solar Energy) and the results of the data analysis about these variables are displayed in Table 1. The inputs of the study are defined as Cloud Coverage, Temperature, Relative Humidity, Wind Speed, and hour (not included in Table 1) and the output is defined as the amount of solar energy.

Table 1. Descriptive statistical values of data sets regarding the amount of Solar Energy and environmental factors.

Variable	Cloud Coverage (% range)	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	Wind speed (Mph)	Solar Energy (kWh)
Sample Size	7536.00	7536.00	7536.00	7536.0	7536.0
Mean	0.41369	16,4300	65,4560	10,111	17,962
Standard Error of Mean	0.00482	0.1220	0.23700	0.0654	0.0105
Standard Deviation	0.41864	10,5950	20,6060	5,6800	0.9151
Variance	0.17526	112,248	424,596	32,267	0.8375
Minimum	0.00000	-18,9300	14,8800	0.0000	0.0000
Maximum	100,000	34.0100	100,000	41,560	46,738
Skewness	0.34000	-0.62000	-0.32000	0.6900	0.0200
Kurtosis	-1.59000	-0.41000	-0.78000	0.6600	-0.9100

The number of observations for each variable is expressed as 7536 in total in the data set. The measures of statistical describe each variable's central tendency, dispersion, skewness, and kurtosis. The Cloud Coverage variable indicates the proportion of cloud cover. The average cloud cover percentage was calculated as 0.41369. The standard deviation value of 0.41864 indicates how spread this distribution is around the data. The skewness

value is 0.34, indicating a slight rightward skew in this distribution. Also, the kurtosis value is -1.59, indicating that the distribution has some weighted tails. The temperature variable shows the average temperature value as 16,430. The standard deviation is 10.595, meaning that this distribution has a wide range of data. The skewness is -0.62, indicating that this distribution is slightly skewed to the left, while the kurtosis value is -0.41, showing a flatter distribution.

The relative humidity variable shows the average relative humidity as 65,456. The standard deviation is 20.606; this distribution reflects the degree of spread of the data. The skewness value is -0.32, indicating that the distribution is slightly skewed to the left, while the kurtosis value is -0.78, showing the flatness of the distribution. The average value of the wind speed variable is 10.111. The standard deviation is 5.680, indicating that the wind speed data of this distribution are somewhat variable. The skewness is 0.69, indicating that this distribution is skewed to the right, while the kurtosis value is 0.66, indicating that the distribution is more peaked. The solar energy variable shows an average solar energy value of 17,962. The standard deviation is 0.9151, indicating this distribution has a relatively low variance. The skewness value is 0.02, indicating that this distribution is slightly skewed to the right, while the kurtosis value is -0.91, reflecting the flatness of this distribution.

In this study, independent and dependent variable data were used in the NN model, one of the ML algorithms, to estimate the amount of solar energy. The rest of this section discusses the criteria that measure the performance of ML, NN algorithm, and ML models.

2.2. Machine Learning (ML)

Machine learning (ML) is a subfield of artificial intelligence (AI) that empowers computer systems to acquire the capability to learn from data and enhance future decisions or predictions based on accumulated experience [24]. ML helps computers perform human-like intelligence functions, with the ability to analyze large amounts of data and discover patterns and relationships, solve complex problems, and make autonomous decisions [25]. ML is assessed within three fundamental categories: supervised, unsupervised, and reinforcement learning [26]. Supervised Learning learns a model on training data and then applies this learned information to new data [27]. This type of learning works with labeled data, meaning there is correct output or label information for each data sample. Classification and regression problems are examples of supervised learning. Unsupervised learning works on unlabeled data and aims to discover hidden structures, patterns, or groupings within the data [28]. It is used to find similarities or differences between samples. Clustering and dimensionality reduction can be given as examples of this category. Reinforcement Learning presents a paradigm in which an agent interacts with an environment and learns by receiving rewards or punishments for performing specific actions against the environment [29]. It is used in game theory, robot control, and automated vehicles.

2.3. Neural Network Algorithm

In the present research, the neural network (NN) algorithm was used, which is within the scope of the supervised learning method. The NN is an essential ML algorithm and an AI model inspired by biological nervous systems [30]. The NN attracts attention with its structure consisting of many connections and layers [31]. These networks can solve complex problems by processing large amounts of data. The NN uses a network structure mainly composed of artificial cells called neurons [32]. These neurons take input data, process them with a weight and activation function, and then produce an output. This process occurs when the input data passes through the layers within the network to deliver results. The network layers connect where information processing and learning occur by transmitting each neuron's output to other neurons [33].

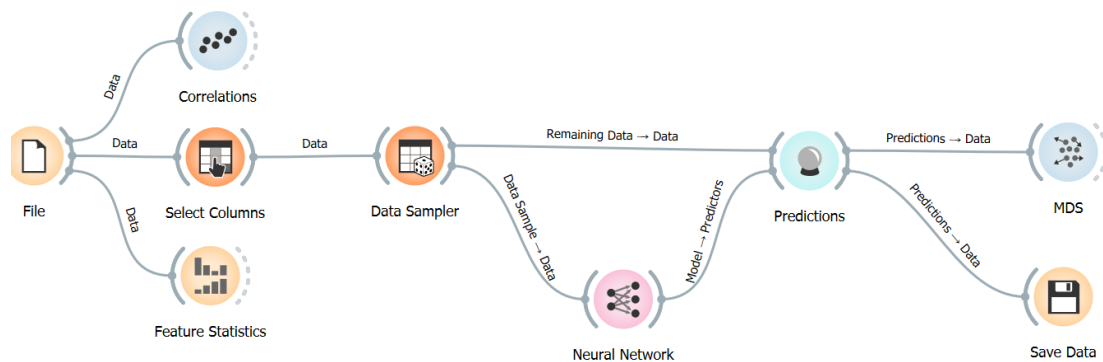


Figure 2. The flowchart of the NN algorithm.

The NN assimilates information through learning processes [34]. There are two primary learning approaches: supervised learning and reinforcement learning [35]. In supervised learning, the network is trained using the data it must learn from, to minimize the disparity between the network's output and the actual values [36]. Reinforcement learning, on the other hand, is a paradigm in which an agent learns by interacting with an

environment and receiving rewards or punishments [37]. In this way, the agent learns from its experiences to determine the best course of action. The NNs are used in various application areas [38]. Specifically, it has seen remarkable accomplishments in image recognition, natural language processing, game AI, financial forecasting, medical diagnosis, and numerous other applications [39]. Additionally, a type of NN called deep learning has mainly influenced large and complex data sets, leading to significant advances in the field [40]. NNs have become increasingly used and considered an essential tool in data mining and artificial intelligence. The flowchart of the NN algorithm, one of the ML models developed for this paper, is presented in Figure 2. In this study, the Orange Data Mining program was used to run the NN model, one of the ML algorithms. This program is publicly available and uses Python software. The parameters of the NN algorithm are expressed below:

Model parameters

Model Name: Neural Network

Hidden layers: 200

Activation: ReLu

Solver: Adam

Alpha: 0.003

Max iterations: 100

Replicable training: Yes

2.4. Machine Learning Performance Measurement Criteria

ML performance measurement criteria are used to evaluate a model or algorithm's predictive ability, accuracy, and effectiveness [24]. These criteria help us understand how well or poorly a model works and support decisions made. Error metrics such as Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), or Mean Absolute Error (MAE) determine how close a model's predictions are to actual values [41]. The R-squared (R2) metric also assesses the goodness of fit of a model to the data and the influence of independent variables on the dependent variable [42]. These performance measurement criteria are essential to model development and tuning and comparing different models. They are also important when businesses make decisions and evaluate risks [43]. As a result, ML performance measurement criteria form a fundamental part of our process for assessing model reliability and effectiveness, making our data-driven decisions more robust. Below, the respective performance measurement criteria for ML algorithms are explained.

2.4.1. MSE (Mean Squared Error)

MSE calculates the mean of the squares of variances between the model's predictions and the real values. Smaller MSE values suggest that the model's predictions are closer to the actual values, indicating superior predictive performance [44]. However, using squares can cause more significant errors to be highlighted.

$$MSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2 \quad (1)$$

where, n represents the total number of observations, y_i signifies the estimated values, and y_i denotes the actual values.

2.4.2. RMSE (Root Mean Squared Error)

RMSE is an error metric used to quantify the extent of disparity between a model's predictions and the actual values. It is derived by taking the square root of MSE, making the error more interpretable [45]. Elevated RMSE values signify that the model's predictions exhibit greater deviations from the actual values, indicating lower prediction accuracy. The equation for RMSE is as follows:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}{n}} \quad (2)$$

2.4.3. MAE (Mean Absolute Error)

MAE computes the mean of the absolute variances between the model's predictions and the actual values [44]. This metric directly quantifies the magnitude of forecasting errors and mitigates the influence of substantial errors. Smaller MAE values indicate that the model's predictions, on average, are closer to the actual values. The mathematical equation of the MAE is given below:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \tilde{y}_i| \quad (3)$$

2.4.4. R² (R-squared)

R² is a statistical measure that assesses how effectively the model aligns with the data. Its values range from 0 to 1, with values closer to 1 indicating a stronger alignment between the model and the data. R² signifies the percentage of variance explained, revealing the extent to which independent variables account for the variance in the dependent variable [46]. A higher R² value corresponds to a more robust fit of the model to the data and improved prediction accuracy [47]. These metrics are employed to assess and compare the performance of various model types. The suitable metric may vary depending on the data and the context of the application, as each metric evaluates different aspects. The mathematical expression of R² is given below:

$$R^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i - \bar{y}_i} \right]^2 \tag{4}$$

Using four different metrics such as MAE, MSE, RMSE, and R² to evaluate the performance of ML algorithms provides a more comprehensive evaluation by analyzing various aspects of the model. MAE gives the average of the absolute differences between actual and predicted values and determines the overall accuracy of the model. MSE and RMSE evaluate the model's sensitivity to large errors by taking the mean and square root of the squares of the errors. R² measures the ratio of the variance of the independent variables to the dependent variable. R² indicates how much of the variance in the data set the model can explain, which is important for assessing the overall fit of the model. When these four measurements are used together, it is possible to evaluate the model's average error, sensitivity to large errors, variance explanation capacity, and overall fit. These multiple measurements help gain a more comprehensive understanding of the model's performance and make improvements. Each measurement provides information from different perspectives and, when used together, paints a more detailed picture of the reliability and applicability of the model.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. The Variance Analysis of Variables (ANOVA)

This study considers variables such as Hour, Cloud Coverage, Temperature, Relative Humidity, and Wind Speed as factors affecting solar energy production. Analysis of the variance of these variables showed how solar energy production is associated with these factors. Analysis of variance determines the extent to which these factors explain the variance in solar energy production and how statistically significant each factor is. It reveals the relationships between these factors and the contribution of each factor to solar energy production. For example, factors such as temperature and wind speed can positively or negatively affect solar energy production, and analysis of variance is a crucial tool to measure these effects. Variance analysis of these variables is an essential analytical tool to evaluate their impact on solar energy production and to indicate which factors should be considered to predict energy production. The variance analysis results for the variables considered in this study are shown in Table 2.

Table 2. The results of the ANOVA of variables.

Source	Degree of freedom	Adjusted sums of squares	Adjusted mean squares	F-Value	P-Value
Hour	1	23.34	23.34	2758.37	0.01
Cloud coverage	1	112.66	112.66	13312.14	0.01
Temperature	1	1066.04	1066.04	125964.8	0.02
Relative humidity	1	1639.62	1639.62	193741.1	0.01
Wind speed	1	69.97	69.97	8268.12	0.01

Analysis of variance results for the time variable shows that this variable plays an essential role in the study. The degree of Freedom (DF) value is 1, indicating that this variable participates in the analysis with one degree of freedom. The Corrected Sum of Squares was calculated as 23.34, meaning that the time variable explains the variability in the data. The f-value was 2758.37, and the P-value was 0.01, which shows that the time variable was significantly effective in the analysis. The analysis of variance results for the cloud cover variable is quite impressive. The DF value of this variable is 1, and the Adjusted Sum of Squares value is 112.66. The f-value was calculated as 13312.14, which is relatively high. These findings suggest that cloud cover is a significant variable that predominantly accounts for the variations in the data. Similarly, the analysis results for the temperature variable indicate that it plays a major role in explaining the data's variability. It has a DF value of 1, an Adjusted Sum of Squares value of 1066.04, and a high F-value of 125964.8. These results indicate that the temperature variable had a statistically significant effect on the analysis. The analysis results for the relative humidity variable are pretty impressive. The DF value is 1, and the Adjusted Sum of Squares value is 1639.62. The f-value was calculated as 193741.1, which is relatively high. These results demonstrate that the relative humidity variable is a significant factor that predominantly accounts for the variability in the data and is an important variable. Similarly, the analysis results for the wind speed variable reveal that it plays a significant role in explaining the data's

variability. It has a DF value of 1, an Adjusted Sum of Squares value of 69.97, and a high F-value of 8268.12. These results indicate that the wind speed variable has a statistically significant effect on the analysis.

3.2. The Results of the NN Model’s Performance Measurement

The NN model, a machine learning algorithm, was employed to estimate the impact of environmental factors on solar energy production. To validate the accuracy of the predictions made by the NN algorithm, performance evaluation metrics were computed. The performance metrics of the NN algorithm are presented in Table 3.

Table 3. The values of performance measurement of the NN model.

Model	MSE	RMSE	MAE	R ²
NN Algorithm	0.019	0.139	0.053	0.977

The MSE value was calculated as 0.019. MSE is an error metric that quantifies the extent of divergence between the model's predictions and the actual values. A lower MSE indicates superior prediction performance, and in this case, the value is quite low. The RMSE value stands at 0.139. RMSE is derived by taking the square root of MSE and provides a more intuitive understanding of the error magnitude. This value is also relatively small, suggesting that the model's predictions are, on the whole, near the actual values. The MAE value is 0.053. MAE calculates the average of the absolute differences between predictions and actual values. This low MAE value implies that the model's predictions generally deviate by approximately 0.053 units. The R² value was registered as 0.977. R² evaluates how well the model fits the data, with values closer to 1 indicating a better fit. In this instance, the R² value is notably high, signifying that the model fits the data well, and its predictions are generally very close to the actual values.

In the present paper, the low error and high fit values of all these metrics show that the NN model has an excellent prediction performance. This indicates that the model is a powerful choice in data analysis or prediction tasks and can produce reliable results.

3.3. The Results of Prediction Values

A comparison of the prediction results of the NN algorithm used in the present paper with actual data is discussed in this section. Descriptive statistical data for forecast and actual data are given in Table 4. Comparing the statistical properties of actual data and the values predicted by the NN algorithm, the data show statistically similar properties. The actual value and the value indicated by NN are the same (1506.00). This shows that the total number of data points was estimated correctly. The actual average value is 18476.00, while the value predicted by NN is 18474.00. The estimate is very close, indicating that it accurately captures the center of the data distribution. The standard error values between the actual and predicted values are very similar (0.02). This shows that the mean estimate of the sample data was calculated accurately. There are slight differences between the standard deviation and variance values of the actual data and the predicted values. This indicates that it accurately captures how dispersed the data points are.

Table 4. Descriptive statistical data for forecast and actual data

Variable	Actual Value	Neural Network Value
Total Count	1506.000	1506.000
Mean	18476.00	18474.00
Std. Error of Mean	0.020000	0.020000
StDev	0.930000	0.920000
Variance	0.860000	0.840000
Coefficient of Variance	50.09000	49.69000
Min	0.010000	-0.080000
Q ₁	10975.00	10852.00
Q ₂	19048.00	19219.00
Q ₃	25898.00	25907.00
Max	46738.00	38990.00
Inter Quartile Range	14923.00	15055.00
Skew	-0.040000	-0.050000
Kurt	-0.900000	-0.980000

The estimate is reasonably accurate while there are variances between the observed and projected coefficient of variation. The minimum value of the actual data is 0.01, but the expected value is negative (-0.08). This indicates that there is a slight deviation from the minimum value of the estimate. The maximum data set for the actual value is 46738.00, while the predicted value is lower (38990.00). The quartile values of the real data set and the predicted values are similar. However, there is a slight difference in the interquartile range (IQR). There are similarities between actual and expected asymmetry and kurtosis values. Negative asymmetry and kurtosis indicate the data

is close to a normal distribution. In general, the estimates closely approximate the real values, although notable disparities exist in certain minimum and maximum values.

The raw data run on the NN algorithm was divided into 80% for the training and 20% for the testing phases. The number of data used for the testing phase is 1507. The actual data used for the testing phase and the prediction data obtained with the NN algorithm are compared in Figure 3.

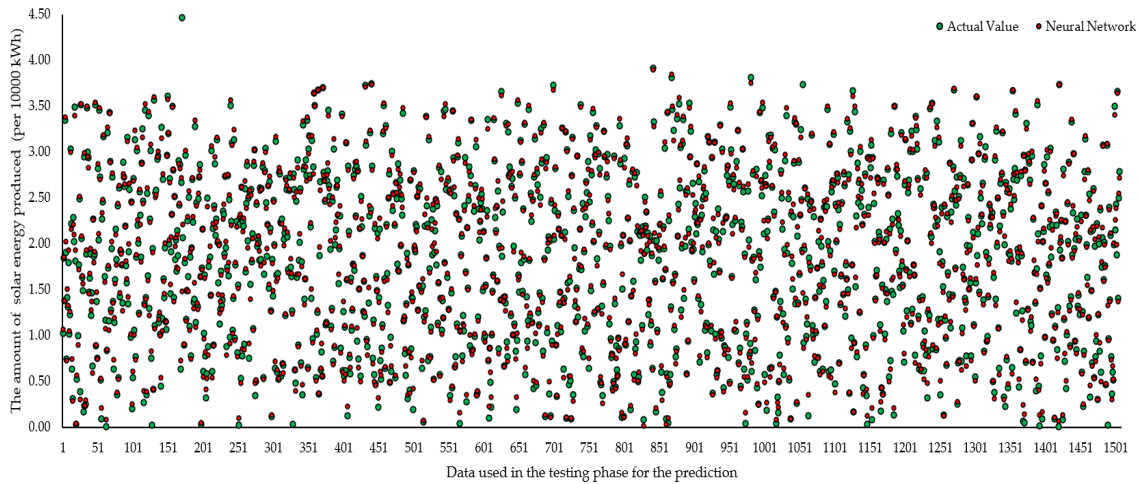


Figure 3. The actual data used for the testing phase and the prediction data.

In one study, researchers highlighted that the SVM model was 27% more accurate than other forecast-based models, considering seven weather forecast measurements [48]. One study used an artificial neural network to predict the amount of solar energy produced and the prediction results showed that the difference between the actual production and the prediction was in the range of 0.5-9%. In this study, the difference between forecast data and actual data was calculated as 0.02% [18]. One of the differences between this study and other studies is the difference in the models used in ML algorithms. Another study emphasized that the deep learning model performed best in ML algorithms to measure the amount of solar energy produced [49]. Another study compared two common methods, artificial neural networks (ANN) and support vector regression (SVR), to predict energy production from a solar photovoltaic (PV) system in Florida 15 minutes, 1 hour, and 24 hours in advance[50]. As a result, both this study and other studies make important contributions to the emergence of other studies.

Multidimensional Scaling (MDS) is a data analysis method used in machine learning and data mining. MDS aims to transform data into a lower dimensional space by preserving the observation similarities of points represented in multidimensional spaces. In this way, it helps to make significant and complex data sets more understandable

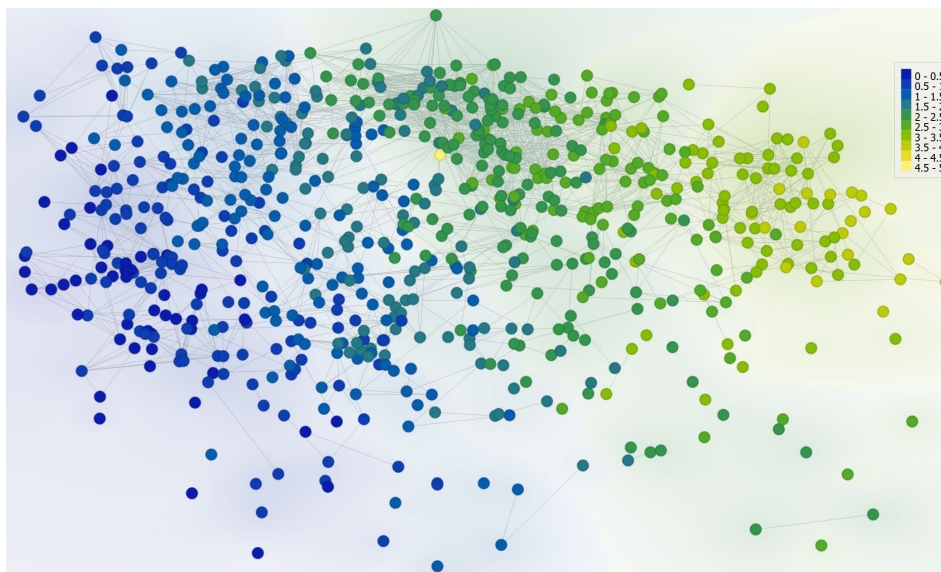


Figure 4. The MDS of the NN algorithm.

and visually representable. MDS facilitates understanding the structure of data sets, recognizing patterns, and discovering relationships between data, especially by using it in data mining, visualization, cluster analysis, and similar applications. This method is considered an important tool, significantly to increase the understandability of multidimensional data and to make data analysis processes more effective. The distribution of the data in the

MSD diagram created for the prediction data of the NN algorithm preferred for this study is shown in Figure 4. The MSD diagram of this algorithm visualizes that the prediction data of the NN algorithm is partially clustered, but the clustering classes are few.

In this study, an NN model from ML algorithms was developed to calculate production amounts for solar energy facilities depending on environmental factors. This study presented a model to estimate the production amounts of solar energy facilities. This study has some limitations. First, information needs to be provided about the physical conditions and equipment of the facility where solar energy amounts are obtained. Secondly, other weather and geographical parameters were not used. Finally, the times of the dates on which the energy amounts were obtained were ignored. As a result, this study presented a model to get predicted values for solar energy, one of the renewable energy types, by considering some restrictions.

4. CONCLUSION

Solar energy is significant among renewable energy sources and is essential for various reasons. Solar energy contributes to electricity production using sunlight and heat and does not produce any by-products or harmful emissions during this process. Additionally, solar energy potential is relatively high worldwide and can increase energy security by reducing dependence on conventional energy sources. Solar power, as a clean, limitless, and eco-friendly energy source, delivers economic advantages while simultaneously helping to achieve sustainability goals in the battle against climate change and energy generation. For these reasons, solar energy is considered an essential component of renewable energy portfolios and is becoming an increasingly preferred option in the energy sector.

This study addressed various environmental factors affecting solar energy production and showed that these factors are associated with solar energy production. By performing variance analysis, the relationships between these factors and the contribution of each factor to solar energy production were revealed. The NN algorithm was utilized to estimate the influence of environmental factors on solar energy production, and model performance metrics were computed to validate these predictions. These metrics indicate the extent of variance between the model's predictions and the actual values. The low MSE and RMSE values achieved in this research demonstrate the model's strong predictive performance, while the high R^2 value signifies a good fit of the model to the data. This implies that the model's predictions are generally in close agreement with the actual values. In summary, this study highlights the NN model as a robust choice for forecasting solar energy production. This means the model can produce reliable data analysis or prediction task results. Additionally, the prediction results of the NN algorithm were compared with actual data. This comparison examined the statistical properties of the predicted and actual data and generally found that the predictions were quite close to the actual values. However, there are significant differences in some minimum and maximum values. Finally, in a section where the multidimensional scaling (MDS) method was used, the data distribution estimated by the NN algorithm was visualized. This visualization shows that the forecast data is partially clustered, but the clustering classes are limited.

Finally, this study demonstrates that the use of the NN algorithm in solar energy predictions results in more precise forecasts of solar energy production, as it effectively captures the intricacies and interplay of environmental factors. This algorithm has provided high accuracy in solar energy production forecasts, especially its ability to process large data sets and recognize complex patterns. In addition to explaining the relationship between solar energy production and environmental factors, this study will provide insight into the potential of increasing the efficiency of solar energy facilities thanks to the accuracy of the predictions obtained with the NN algorithm.

Author Contribution

Yasemin Ayaz Atalan contributed to all stages of the study.

Conflict of Interest

The author has declared no conflict of interest.

REFERENCES

- [1] Y.A. Atalan and A. Atalan, "Integration of the Machine Learning Algorithms and I-MR Statistical Process Control for Solar Energy," *Sustainability*, vol. 15, no. 18, p. 13782, Sep. 2023.
- [2] N. Fatima, Y. Li, M. Ahmad, G. Jabeen, and X. Li, "Factors influencing renewable energy generation development: a way to environmental sustainability," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 28, no. 37, pp. 51714–51732, 2021.
- [3] V. Mhasawade, Y. Zhao, and R. Chunara, "Machine learning and algorithmic fairness in public and population health," *Nat. Mach. Intell.*, vol. 3, no. 8, pp. 659–666, Aug. 2021.
- [4] V. Ramanathan and Y. Feng, "Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives," *Atmos. Environ.*, vol. 43, no. 1, pp. 37–50, 2009.
- [5] L. Qi and Y. Zhang, "Effects of solar photovoltaic technology on the environment in China," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 24, pp. 22133–22142, 2017.

- [6] A. Sharif, S.A. Raza, I. Ozturk, and S. Afshan, “The dynamic relationship of renewable and nonrenewable energy consumption with carbon emission: a global study with the application of heterogeneous panel estimations,” *Renew. energy*, vol. 133, pp. 685–691, 2019.
- [7] F. Dincer, “The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 1, pp. 713–720, 2011.
- [8] N. Armaroli and V. Balzani, “The future of energy supply: challenges and opportunities,” *Angew. Chemie Int. Ed.*, vol. 46, no. 1-2, pp. 52–66, 2007.
- [9] S. Kanwal, M.T. Mehran, M. Hassan, M. Anwar, S. R. Naqvi, and A.H. Khoja, “An integrated future approach for the energy security of Pakistan: Replacement of fossil fuels with syngas for better environment and socio-economic development,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 156, p. 111978, 2022.
- [10] U. Pelay, L. Luo, Y. Fan, D. Stitou, and M. Rood, “Thermal energy storage systems for concentrated solar power plants,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 79, pp. 82–100, 2017.
- [11] F. Trieb and H. Elnokraschy, “Concentrating solar power for seawater desalination,” *IWCT*, vol. 12, pp. 2–13, 2007.
- [12] A.C. Şerban and M.D. Lytras, “Artificial intelligence for smart renewable energy sector in europe—smart energy infrastructures for next generation smart cities,” *IEEE access*, vol. 8, pp. 77364–77377, 2020.
- [13] A. Mohammad and F. Mahjabeen, “Revolutionizing Solar Energy: The Impact of Artificial Intelligence on Photovoltaic Systems,” *Int. J. Multidiscip. Sci. Arts*, vol. 2, no. 1, 2023.
- [14] A. Gopi, P. Sharma, K. Sudhakar, W. K. Ngui, I. Kirpichnikova, and E. Cuce, “Weather impact on solar farm performance: A comparative analysis of machine learning techniques,” *Sustainability*, vol. 15, no. 1, p. 439, 2022.
- [15] M.M.V. Cantarero, “Of renewable energy, energy democracy, and sustainable development: A roadmap to accelerate the energy transition in developing countries,” *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 70, p. 101716, 2020.
- [16] K. Mahmud, S. Azam, A. Karim, S. Zobaed, B. Shanmugam, and D. Mathur, “Machine learning based PV power generation forecasting in alic springs,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 46117–46128, 2021.
- [17] A. Atalan, H. Şahin, and Y.A. Atalan, “Integration of Machine Learning Algorithms and Discrete-Event Simulation for the Cost of Healthcare Resources,” *Healthcare*, vol. 10, no. 10, p. 1920, Sep. 2022.
- [18] F. Rodríguez, A. Fleetwood, A. Galarza, and L. Fontán, “Predicting solar energy generation through artificial neural networks using weather forecasts for microgrid control,” *Renew. energy*, vol. 126, pp. 855–864, 2018.
- [19] R. Ahmed, V. Sreeram, Y. Mishra, and M. D. Arif, “A review and evaluation of the state-of-the-art in PV solar power forecasting: Techniques and optimization,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 124, p. 109792, 2020.
- [20] O. Erdinc and M. Uzunoglu, “Optimum design of hybrid renewable energy systems: Overview of different approaches,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 3, pp. 1412–1425, 2012.
- [21] Z. He, W. Guo, and P. Zhang, “Performance prediction, optimal design and operational control of thermal energy storage using artificial intelligence methods,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 156, p. 111977, 2022.
- [22] I.M. Galván, J.M. Valls, A. Cervantes, and R. Aler, “Multi-objective evolutionary optimization of prediction intervals for solar energy forecasting with neural networks,” *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 418–419, pp. 363–382, 2017.
- [23] A. Kuzmiakova, G. Colas, and A. McKeehan, “Predicting solar energy using machine learning: CS 229 project,” 2023. <https://github.com/adelekuzmiakova/CS229machine-learning-solar-energy-predictions/tree/master>
- [24] H. İnaç, Y.E. Ayözen, A. Atalan, and C.Ç. Dönmez, “Estimation of Postal Service Delivery Time and Energy Cost with E-Scooter by Machine Learning Algorithms,” *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 23, p. 12266, Nov. 2022.
- [25] J. Li, M.S. Herdem, J. Nathwani, and J.Z. Wen, “Methods and applications for artificial intelligence, big data, internet-of-things, and blockchain in smart energy management,” *Energy AI*, p. 100208, 2022.
- [26] S. Osama, H. Shaban, and A.A. Ali, “Gene reduction and machine learning algorithms for cancer classification based on microarray gene expression data: A comprehensive review,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 213, p. 118946, 2023.
- [27] A. Abraham et al., “Machine learning for neuroimaging with scikit-learn,” *Front. Neuroinform.*, vol. 8, p. 14, 2014.
- [28] K. Hsu, S. Levine, and C. Finn, “Unsupervised learning via meta-learning,” *arXiv Prepr. arXiv1810.02334*, 2018.
- [29] R. Diao, Z. Wang, D. Shi, Q. Chang, J. Duan, and X. Zhang, “Autonomous voltage control for grid operation using deep reinforcement learning,” in *2019 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*, IEEE, 2019, pp. 1–5.
- [30] J. Yang et al., “Neuromorphic engineering: from biological to spike-based hardware nervous systems,” *Adv. Mater.*, vol. 32, no. 52, p. 2003610, 2020.
- [31] S. Boccaletti et al., “The structure and dynamics of multilayer networks,” *Phys. Rep.*, vol. 544, no. 1, pp. 1–122, 2014.
- [32] M. Khandelwal and T.N. Singh, “Prediction of blast-induced ground vibration using artificial neural network,” *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, vol. 46, no. 7, pp. 1214–1222, 2009.
- [33] D. Graupe, *Principles of Artificial Neural Networks*, vol. 7. in *Advanced Series in Circuits and Systems*, vol. 7. World Scientific, 2013.

- [34] C. Coman, L.G. Țiru, L. Meseșan-Schmitz, C. Stanciu, and M.C. Bularca, "Online teaching and learning in higher education during the coronavirus pandemic: Students' perspective," *Sustainability*, vol. 12, no. 24, p. 10367, 2020.
- [35] V. Nasteski, "An overview of the supervised machine learning methods," *Horizons. b*, vol. 4, pp. 51–62, 2017.
- [36] S. Makridakis, E. Spiliotis, and V. Assimakopoulos, "Statistical and Machine Learning forecasting methods: Concerns and ways forward," *PLoS One*, vol. 13, no. 3, p. e0194889, 2018.
- [37] Y.-C. Wang and J.M. Usher, "Application of reinforcement learning for agent-based production scheduling," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 18, no. 1, pp. 73–82, 2005.
- [38] E.L. Jacobsen and J. Teizer, "Deep learning in construction: Review of applications and potential avenues," *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 36, no. 2, p. 3121001, 2022.
- [39] C. Zhang and Y. Lu, "Study on artificial intelligence: The state of the art and future prospects," *J. Ind. Inf. Integr.*, vol. 23, p. 100224, 2021.
- [40] L. Alzubaidi et al., "Review of deep learning: Concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions," *J. big Data*, vol. 8, pp. 1–74, 2021.
- [41] D.P. Kiley, S. Haley, B. Saylor, and B.L. Saylor, "The Value of Evidence-Based Computer Simulation of Oral Health Outcomes for Management Analysis of the Alaska Dental Health Aide Program," Institute of Social and Economic Research, University of Alaska Anchorage, 2008. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11122/4459>
- [42] M.S. Lewis-Beck and A. Skalaban, "The R-squared: Some straight talk," *Polit. Anal.*, vol. 2, pp. 153–171, 1990.
- [43] A. Atalan, "Statistical optimization of forecast data from Adaptive Boosting and Support Vector Machine Algorithms," in *International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences*, 2023, pp. 571–579.
- [44] C.J. Willmott and K. Matsuura, "Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance," *Clim. Res.*, vol. 30, no. 1, pp. 79–82, 2005.
- [45] D. Chicco, M.J. Warrens, and G. Jurman, "The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation," *PeerJ Comput. Sci.*, vol. 7, p. e623, 2021.
- [46] A. Atalan, "Effect of healthcare expenditure on the correlation between the number of nurses and doctors employed," *Int. J. Heal. Manag. Tour.*, vol. 6, no. 2, pp. 515–525, 2021.
- [47] D.B. Figueiredo Filho, J. A. S. Júnior, and E. C. Rocha, "What is R2 all about?," *Leviathan (São Paulo)*, no. 3, pp. 60–68, 2011.
- [48] N. Sharma, P. Sharma, D. Irwin, and P. Shenoy, "Predicting solar generation from weather forecasts using machine learning," in *2011 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, IEEE, Oct. 2011, pp. 528–533.
- [49] A. Gensler, J. Henze, B. Sick, and N. Raabe, "Deep Learning for solar power forecasting — An approach using AutoEncoder and LSTM Neural Networks," in *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, IEEE, Oct. 2016, pp. 002858–002865.
- [50] Z. Li, S. Rahman, R. Vega, and B. Dong, "A Hierarchical Approach Using Machine Learning Methods in Solar Photovoltaic Energy Production Forecasting," *Energies*, vol. 9, no. 1, p. 55, 2016.



Elektronik Burun ve Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Gıda Aromalarının Sınıflandırılması

Classification of Food Flavors using Electronic Nose and Machine Learning Methods

¹İlyas ÖZER , ²Kutlucan GÖRÜR , ^{3*}Onursal ÇETİN , ⁴Feyzullah TEMURTAŞ 

^{1,2,3,4}Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, 10200, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

¹iozer@bandirma.edu.tr, ²kgorur@bandirma.edu.tr

³ocetin@bandirma.edu.tr, ⁴ftemurtas@bandirma.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 15 December 2023

Accepted : 29 January 2024

Keywords:

Electronic Nose, Food Flavor, Odor, Machine Learning

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the classes of flavors from chemical odor data obtained from different food flavors using electronic nose and machine learning methods. The relationship between volatile and non-volatile components in food flavors has been intensively researched. Normalized analytical protocols are applied to monitor the occurrence of regulated chemicals in processed foods. Although these methods are robust, they involve highly specialized instrumentation and time-consuming and expensive procedures. The electronic nose is a cost-effective and powerful electronic device that can make rapid measurements to distinguish food flavors. Since the molecules responsible for aromatic compounds released during food processing can be detected by the human nose, it may be possible to use electronic nose to detect changes in processed food products. In this research study, the calculated classification outcomes were estimated above $\geq 90.00\%$ accuracy with sensitivity (≥ 90.00) and specificity (≥ 90.00) scores.

© 2024 Bandırma Onyedü Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 15 Aralık 2023

Kabul : 29 Ocak 2024

Anahtar Kelimeler:

Elektronik Burun, Gıda Aroması, Koku, Makine Öğrenmesi

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, elektronik burun ve makine öğrenimi yöntemlerini kullanarak farklı gıda aromalarından elde edilen kimyasal koku verilerinden aromalara ait sınıfların belirlenmesidir. Gıda aromaları içinde bulunan uçucu ve uçucu olmayan bileşenler arasındaki ilişki yoğun bir şekilde araştırılmaktadır. İşlenmiş gıdalarda düzenlenmiş kimyasal oluşumunu izlemek için normalleştirilmiş analitik protokoller uygulanır. Bu yöntemler sağlam olmasına karşın, son derece uzmanlaşmış enstrümantasyon, zaman alıcı ve pahalı prosedürler içerir. Elektronik burun, gıda tatlarını ayırt etmek için hızlı ölçümler yapabilen, uygun maliyetli ve güçlü bir elektronik cihazdır. Gıda işleme sırasında açığa çıkan aromatik bileşiklerinden sorumlu moleküller insan burnu tarafından tanınabildiğinden, işlenmiş gıda ürünlerinde meydana gelen değişiklikleri tespit etmek için elektronik burun kullanmak mümkündür. Bu araştırma çalışmasında hesaplanan sınıflandırma sonuçları, duyarlılık ($\geq 90.00\%$) ve özgüllük ($\geq 90.00\%$) ile $\geq 90.00\%$ 'in üzerinde doğrulukla tahmin edilmiştir.

© 2024 Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayımlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

ORCID ID: ¹0000-0003-2112-5497

²0000-0003-3578-0150

³0000-0001-5220-3959

⁴0000-0002-3158-4032

1. GİRİŞ

Yiyecek ürünlerin kalitesi, yiyeceğin lezzetini/aromasını ve güvenliğini etkiler. Test kağıdı, siklotron veya kromatografi gibi geleneksel tespit yöntemlerinin doğruluk, tespit aralığı, zaman tüketimi, taşınabilirlik ve maliyet açısından bazı sınırları olduğu bilinmektedir [1]. Yapay koku sistemi (Artificial Olfactory System/AOS) ve elektronik burun (Electronic Nose/E-Nose), kısa algılama döngüsü, yüksek hassasiyet ve karmaşık ön işleme gerekmemesi gibi avantajlara sahip olan hayvan ve insan koku sensörlerini simüle ederek gıda kalitesini algılayabilir ve tanımlayabilir. E-Nose veya AOS, kokuyu tespit etmek ve tanımlamak için hayvanın veya insanın koku algısı mekanizmasını simüle eder [1, 2]. Gıda kalitesini tespit etmek için potansiyel olarak iyi bir yöntem olabilir. Biyoteknolojik bir ölçüm yöntemi olarak E-Nose ve AOS, temel olarak insan koku alma sistemi sürecini simüle ederek sinyal tanıma ve işlemeyi gerçekleştirir. Sensör dizisi, insan koku alma reseptörlerini taklit edecek şekilde tasarlanırken, sensörler ve gazlar arasındaki elektrokimyasal geri besleme sinyalleri, insan koku alma sistemindeki enzim basamaklı reaksiyonları olarak görülmektedir. E-Nose ve AOS, çevresel izleme, gıda endüstrisi (aroma sınıflandırma ve gıda tazeliği), kimya endüstrisi ve tıbbi üretim gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1-4].

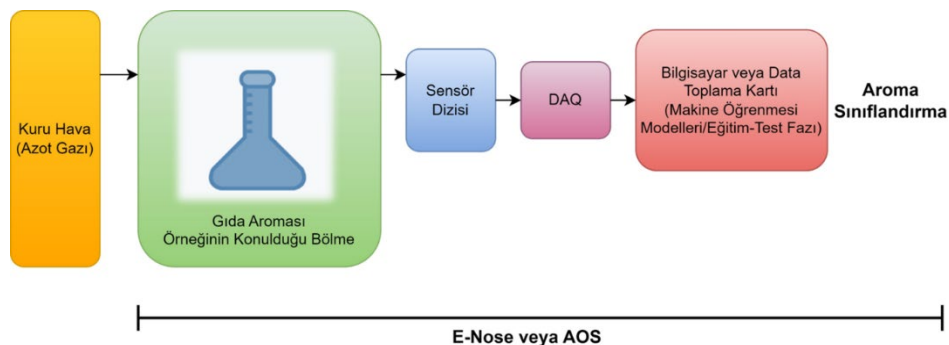
E-Nose ve AOS'un sensör dizisi, çeşitli kokular ve aromalar için farklı örüntüler gösterir ve bunlar, kokuların durumunu örüntü tanıma algoritmalarıyla tanımlamak için kullanılabilir. Aroma sınıflandırma ve gıda güvenliği tespitinde Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis/PCA), Doğrusal Diskriminant Analizi (Linear Discriminant Analysis/LDA), K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbor/KNN), Geri Yayılan Yapay Sinir Ağı/ Çok Katmanlı Sinir Ağı (Backpropagation – Artificial Neural Network veya /BP-ANN/ Multilayer Neural Network), öğrenme vektör nicelmesi (Learning Vector Quantization/LVQ) gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Bununla beraber kendi kendini organize eden harita (Self-Organizing Map/SOM), olasılıksal sinir ağı (Probabilistic Neural Network/PNN) ve diğer makine öğrenmesi yöntemleri de E-Nose ve AOS ile birlikte gıda/aroma ve hassasiyet/sınıflandırma değerlendirmesinde uygulanmıştır [1-4]. Bu çalışmaların son yıllarda literatürde önem kazandığı ve giderek arttığı görülmektedir.

Makine öğrenimi modeli (Machine Learning/ML), E-Nose ve AOS'un temeli olarak görülebilir. ML son yıllarda gıda kalitesi değerlendirmesinde yaygın olarak uygulanmaktadır [1]. Meyvelerdeki nem içeriğindeki değişiklikleri izlemek için invazif olmayan bir ML odaklı teknik, Ren ve arkadaşları tarafından önerilmiştir [5]. Matteo ve ark. farklı kahve gruplarını sınıflandırmak için PCA ve çok katmanlı algılayıcılara sahip yeni bir E-Nose yaklaşımı kullanmıştır [6]. Palaş ve ark. su numunelerinin kategorisini belirlemek için çeşitli sinir ağı sınıflandırıcılarının paralel kombinasyonundan oluşan bir sistem geliştirdiklerini rapor etmişlerdir [7]. Antony ve ark. meyve, sebze, deniz ürünleri, et ve süt ürünlerinin kalitesinin tespit edilmesi de dahil olmak üzere gıda güvenliği alanında ML tekniklerinin gelişimini gözden geçirmişlerdir [8]. Bu gıda ürünlerinin yanı sıra doğrudan şarap, peynir, yeşil çay, çilek, soya sütü, mantar, makarna, sosis ve likör gibi aromaların sınıflandırılması da rapor edilmiştir [9-16]. Fermantasyon sonucu oluşan uçucu organik bileşenler ve sıcaklık, mikroorganizma vb. nedenlerden dolayı oluşan yan ürünlerin analizinde de E-Nose, AOS ve elektronik dil sistemleri ML modelleri ile birlikte gıda kalite analizinde kullanılmasının yararlı bir araç olduğunu göstermiştir [4,17,18]

Bu çalışmada, çikolata, karanfil, tarçın, zencefil ve aroma olmayan ortam kokusu örneklenmiş ve saf örnekler üzerinden sistem oluşturulmuştur. Daha sonra E-Nose cihazının sensör dizisi ile farklı örneklerin tepkileri tespit edilmiş ve veri setleri elde edilmiştir. Daha sonra örüntü durumunu değerlendirmek için farklı ML modelleri oluşturulmuş ve karşılaştırılmıştır.

2. METOT

Aroma sınıflandırmak için geliştirilen E-Nose sistemi kuru hava, aromanın konulduğu bir bölme, sensör dizisi, elektronik valfler, veri toplama kartı (Data Acquisition System-DAQ) ile bilgisayardan oluşmaktadır. Kuru hava, belirli aralıklarla elde edilen aroma kokusunun bulunduğu bölmeyi temizlemek için kullanılır. Daha sonra E-Nose sistemi sahip olduğu sensör dizileri ile ilgili kokuya ait kimyasal bileşenleri sahip olduğu farklı sensörler yardımıyla DAQ ile ölçümünü yaptıktan sonra sinyal işleme/örüntü tanıma için bilgisayar ortamına aktarır. E-Nose sistemine ait en genel deneysel düzen Şekil-1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Aroma sınıflandırmak için geliştirilen E-Nose sistemine ait deneysel düzen.

2.1. Sensör Dizileri ve Veri Seti Oluşturma

E-Nose sisteminde, farklı hassasiyet karakteristiklerine sahip (metan, karbonmonoksit, karbondioksit, alkol, metan, bütan vb.) ve farklı tespit aralıklarında (30-10000 ppm*) gaz sensör dizilerinden toplamda 7 adet kimyasal sensör kullanılmıştır. Bu sensörler ile ilgili aromaya ait örüntülerin ölçümü yapılmış ve her aroma sınıfına ait veri seti elde edilmiştir. Bu araştırma çalışmasında, çikolata, karanfil, tarçın, zencefil ve aroma olmayan ortam kokusu örneklenmiştir ve saf örnekler üzerinden E-Nose sistemi gerçekleştirilmiştir.

2.2. Makine Öğrenmesi Modelleri

2.2.1. Lineer Diskriminant Analizi

Kernel Fisher Diskriminant analizinden türetilen Lineer Diskriminant Analizi (LDA), sınıflandırma ve verinin boyutunun azaltılması için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu yöntem, sınıflar arası varyans oranını maksimuma çıkarmayı ve sınıf içi varyans oranını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Veri setinin mevcut hali bileşenleri ayırmak için çok elverişli olmadığı durumlarda veriyi daha kolay ayrılabilir hale getirmekte kullanışlı olan denetimli bir öğrenme algoritmasıdır [19]. İki veya daha fazla nesne veya olay sınıfını ayıran veya tanımlayan doğrusal bir özellik kombinasyonunu bulmak LDA'nın birincil hedefidir. Diskriminant fonksiyonu olarak da bilinen bu doğrusal kombinasyon, sınıflandırma için kullanılır. LDA'nın çalışabilmesi için öncelikle her sınıfa ait ortalama ve kovaryans matrisi belirlenir. Daha sonra sağlanan bilgileri kullanarak sınıflar arasındaki mesafeyi optimize eden bir projeksiyon vektörü hesaplanır. Veriler bu vektör kullanılarak yeni özellik uzayına dönüştürülür. Sınıflandırma görevlerinde LDA, sınıfları en iyi şekilde ayıran bir karar sınırı oluşturur. Bu karar sınırı, sınıflar arası dağılımı en üst düzeye çıkararak ve sınıf içi dağılımı en aza indiren bir hiperdüzlemdir. LDA biyoformatik, görüntü analizi ve örüntü tanıma gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Gözlemleri özelliklerine göre birçok gruba ayırmanın gerekli olduğu senaryolarda uygulanır [19].

2.2.2. K-En Yakın Komşuluk Algoritması

Öklid tabanlı K-En Yakın Komşuluk (KNN), sınıflandırma ve regresyon görevleri için kullanılan basit ve sezgisel bir makine öğrenme algoritmasıdır. Eğitim aşamasında algoritma, tüm eğitim veri noktalarını özellik uzayında saklar. Sınıflandırma görevi için her veri noktası bir sınıf etiketiyle ilişkilendirilir. Tahmin aşamasında algoritma, yeni bir veri noktası için özellik uzayında bu noktanın k-en yakın komşularını belirler. Komşuları belirlemek için mesafe metriği olarak genellikle Öklid mesafesi kullanılır [19]. Ancak verilerin doğasına bağlı olarak Manhattan mesafesi, Minkowski mesafesi veya kosinüs benzerliği gibi diğer mesafe ölçümleri de kullanılabilir. Sınıflandırma için algoritma, yeni veri noktasına k-en yakın komşular arasında en yaygın sınıf etiketini atar. Algoritmanın hiper parametresi "k", bir veri kümesindeki sonuçları sınıflandırmak veya tahmin etmek için kullanılan en yakın komşuların sayısını ifade eder. "k", kullanıcı tanımlı bir parametredir ve "k"nin optimal değerini bulmak için önceden tanımlanmış matematiksel teknikler yoktur. Eğer "k" sayısı küçük seçilirse tahmin bölgesi sınırlanır ve sınıflandırıcının genel dağılımı daha az kesin hale gelir. Daha büyük "k" değerleri daha yumuşak bir karar sınırı sağlayabilir ancak yerel örüntüleri o kadar etkili bir şekilde yakalayamayabilir [19].

2.2.3. Karar Ağaçları

Sayısal ve kategorik verileri işleme yeteneğiyle ön plana çıkan Karar Ağacı (DTC), popüler bir denetimli makine öğrenimi algoritmasıdır. Böl ve yönet stratejisini uygulayan kural tabanlı bir algoritmadır ve hem regresyon hem de sınıflandırma için kullanılır. Sınıflandırma için girdi matrisindeki satır sayısı ile sınıf etiketlerinin sayısı eşit olmalıdır [19]. Ağaç, her bir düğümdeki verileri bölmek için en iyi özellik seçilerek özyinelemeli olarak oluşturulur. Bu süreç, önceden tanımlanmış bir ağaç derinliği, yaprak başına minimum örnek sayısı gibi bir durdurma kriteri karşılanana kadar devam eder. Karar ağacı, yukarıdan aşağıya doğru kök, karar düğümleri ve sonucu veren yapraklardan oluşur. Ağaçtaki en üst düğüm kök olarak adlandırılır ve veri kümesini belirli bir kritere göre en iyi şekilde bölen özelliği temsil eder. Bu kriter, her bir alt küme içindeki hedef değişkenin homojenliğini en üst düzeye çıkarmak için seçilir. İç düğümler, özelliklerin değerlerine dayalı karar noktalarını temsil eder. Her bir iç düğüm, ilgili özelliğin olası değerlerine karşılık gelen dallara sahiptir. Problem uzayının bölüneceği segment sayısı (ağaçtaki dal sayısı) çözüm için önemlidir ve asıl sorun ağaç oluşturulurken en iyi sınıflandırma için gerekli dal sayısının belirlenmesidir. Yapraklar, belirli bir örnek için tahmin sağlayan nihai çıktı düğümleridir. Sınıflandırma görevlerinde her bir yaprak bir sınıf etiketi ile ilişkilendirilir. Çok az veri ön işleme gerektirir ve özellikler arasındaki doğrusal olmayan ilişkiler doğal olarak yakalanır. Ancak karar ağaçları verilerdeki küçük değişikliklere karşı hassas olabilir ve dengesiz veri kümelerinde iyi performans göstermeyebilirler [19].

2.2.4. Çok Katmanlı Sinir Ağı

Çok katmanlı sinir ağı (MLP), sinyal işlemede yaygın olarak kullanılan ve bilginin tek yönde aktığı bir yapay sinir ağı türüdür. Derin öğrenmede temel bir mimaridir ve sınıflandırma, regresyon ve örüntü tanıma gibi çeşitli görevler için kullanılır. Bu algoritmayı kullanmanın arkasındaki motivasyon, bir sistemin veya veri örneklerinin doğrusal olmayan davranışını yakalamaya ve bunları tahmin etmeye dayanmaktadır. MLP, örüntüyü öğrenme ve genelleme

yeteneğine sahiptir [19]. MLP'de eğitim, istenen sonuçlara daha iyi yakınsama elde etmek için ağırlıkların güncellenmesi eylemi olarak tanımlanır ve denetimli bir öğrenme yaklaşımı kullanılır. Eğitim sırasında, modelin tahminleri gerçek hedef değerlerle karşılaştırılır ve fark bir kayıp fonksiyonu ile ölçülür. Geri yayılım daha sonra kaybı en aza indirmek için ağırlıkları ve bias değerlerini güncellemek için kullanılır. MLP'nin yapısı girdi katmanı, çıktı katmanı ve bu iki katman arasında yer alan bir veya daha fazla gizli katmandan oluşur. Ağdaki her düğüm, girdilerinin ağırlıklı bir toplamını gerçekleştiren ve sonucu bir aktivasyon fonksiyonundan geçiren bir nörondur. Yaygın aktivasyon fonksiyonları arasında sigmoid, hiperbolik tanjant (tanh) ve düzeltilmiş doğrusal birim (ReLU) bulunur. Aktivasyon fonksiyonları modele doğrusal olmayan bir özellik katar ve böylece verilerdeki karmaşık ilişkileri öğrenmesini sağlar. MLP performansı gizli katman sayısı, her katmandaki nöron sayısı, aktivasyon fonksiyonlarının seçimi ve öğrenme oranı gibi hiper parametrelerin seçimine bağlıdır. Optimum ağ yapısı, verilen görevi yerine getirebilecek ve genelleme yeteneğini en üst düzeye çıkarabilecek en düşük gizli katman sayısına sahip olmalıdır [19].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

E-Nose tabanlı aroma sınıflandırma için yapılan çalışmada 5 farklı sınıf için geleneksel makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmış ve doğruluk (Accuracy/ACC), hassasiyet (Sensitivity/SENS), özgüllük (Specificity/SPEC), kesinlik (Precision/PREC) ve F-score değerleri elde edilmiştir. Tablo 1'de görüldüğü üzere, 5 farklı aroma sınıflandırma sonuçları içinde en başarılı makine öğrenmesi yöntemi bütün performans metrikleri için DTC olarak görülmektedir. Buna göre ilgili ML modeli, 93.16% ACC, 93.11% SENS, 98.31% SPEC, 93.35% PREC ve 93.12% F-score değerlerini elde etmiştir.



Chocolate (Çikolata), Clove (Karanfil), Cinnamon (Tarçın), Ginger (Zencefil), Unflavored (Aromasız Koku)

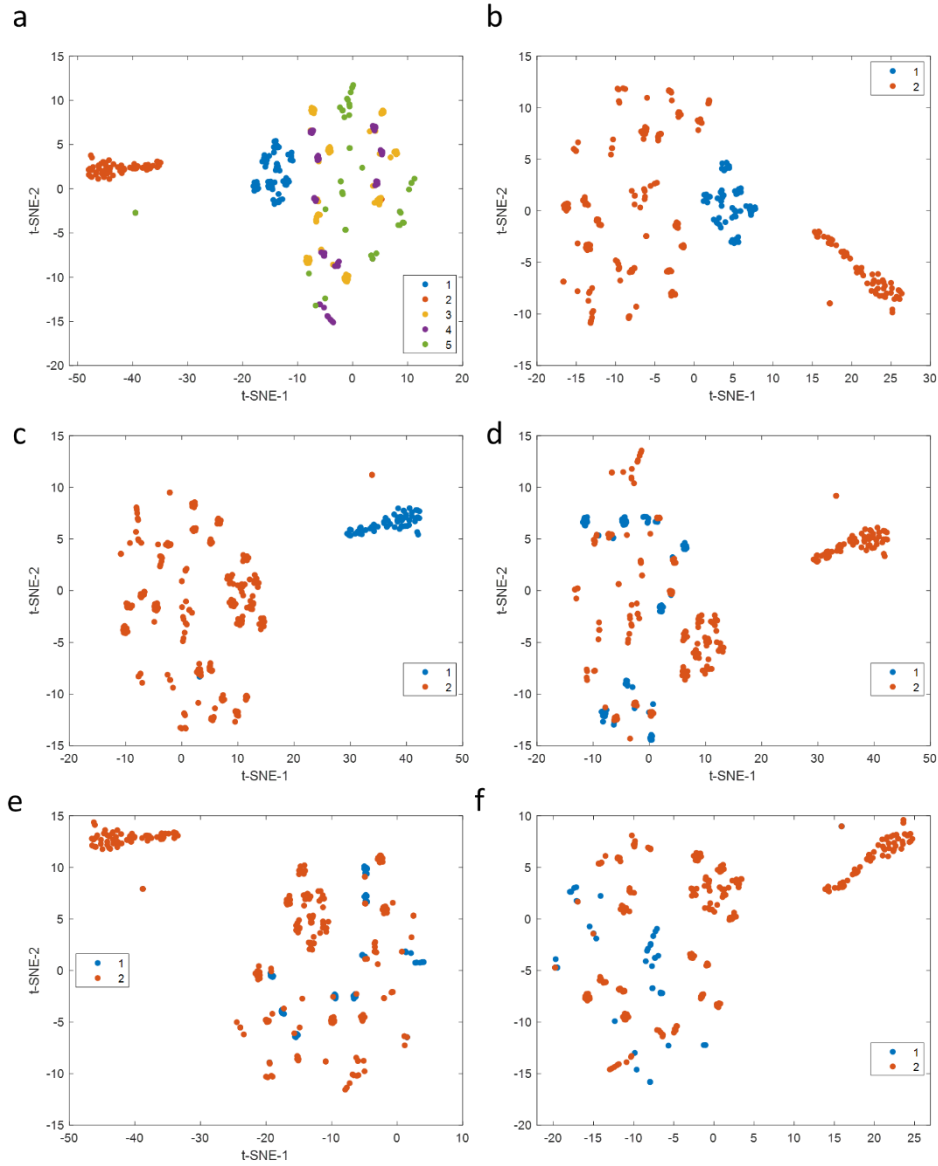
Şekil 2. Aroma sınıflandırma başarı grafiği. Ortama sınıflandırma sonuçları (üst sıra), 5-fold'a ait sınıflandırma sonuçları (orta sıra), karmaşık matrisi sonuçları (alt sıra sol DTC için, alt sıra sağ MLP için).

En başarılı ikinci ML modeli, MLP olarak gözlenmiştir. Bununla beraber, KNN ve LDA geleneksel ML modelleri diğer iki modeli göre aroma sınıflandırma daha düşük sınıflandırma sonucu elde etmiştir. Doğruluk oranı her iki model için 76.07% (KNN) ve 69.23% (LDA) olarak hesaplanmıştır. Hassasiyet, özgüllük, kesinlik ve F-score değerleri, KNN ve LDA için sırasıyla 76.29%-68.91%, 94.05%-92.33%, 76.39%-72.52% ve 74.94%-69.03% olarak elde edildiği gözlenmiştir. Aroma sınıflandırma başarısına ait ilgili grafikler Şekil 2’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Aroma sınıflandırma sonuçları.

	ACC (%)	SENS (%)	SPEC (%)	PREC (%)	F-SCORE (%)
DTC	93.16	93.11	98.31	93.35	93.12
KNN	76.07	76.29	94.05	76.39	74.94
LDA	69.23	68.91	92.33	72.52	69.03
MLP	90.00	90.00	97.00	90.00	90.00

t-SNE (t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding) grafiği birçok veride olduğu gibi aroma verileri arasında da sınıf içi ve sınıflar arası ayrıştırmayı ve kümelemeyi göstermektedir. Başka bir deyişle t-SNE, veri noktalarının benzerliklerini olasılıklara dönüştürür [2]. Buna göre birden fazla sınıfın kümelenmesi içinde (Şekil 3.a) karanfil ve çikolata aromasına ait kimyasal koku verilerinin diğer aroma verilerinden daha fazla ayrışabildiği gözlenmiştir. Bununla beraber, bir sınıfın diğer sınıflara göre ayrışması ve saçılması gözlemlendiğinde, çikolata ve karanfil aromalarının diğer kalan aromalardan daha fazla ayrışabildiği hesaplanmıştır.



Şekil 3. Aroma verileri için t-SNE saçılım grafikleri a. çikolata (1), karanfil (2), tarçın (3), zencefil (4), aroma yok (5). b. çikolata (1) ve diğer aromalar (2), c. karanfil (1) ve diğer aromalar (2), d. tarçın (1) ve diğer aromalar (2), e. zencefil (1) ve diğer aromalar (2), f. aroma yok (1) ve diğer aromalar (2) (İlgili sayılar grafikler üzerindeki aromalara ait etiketleri göstermektedir.)

Sınıf tabanlı aroma sınıflandırma sonuçlarına göre çikolata aromasına ait hassasiyet, özgüllük, kesinlik ve F-score sonucu 100% olarak hesaplanmıştır. Bununla beraber karanfil aroması için elde edilen hassasiyet, özgüllük, kesinlik ve F-score değerleri sırasıyla 91.30%, 97.87%, 91.30% ve 91.30% olarak bulunmuştur. Tarçın ve zencefil aromalarına ait sınıf tabanlı tahmin sonuçları ise hassasiyet ve özgüllük değerleri için $\geq 87.00\%$ olarak gözlenmiştir. Kesinlik ve F-score değerleri de yine $\geq 80.00\%$ olarak elde edilmiştir.

Tablo 2. DTC için sınıf tabanlı aroma tahmin sonuçları.

	SENS (%)	SPEC (%)	PREC (%)	F-SCORE (%)
Çikolata	100	100	100	100
Karanfil	91.30	97.87	91.30	91.30
Tarçın	90.91	94.74	80.00	85.11
Zencefil	87.50	98.92	95.45	91.30
Aromasız Koku	95.83	100	100	97.87
Ortalama Değer	93.10	98.30	93.35	93.11

4. SONUÇ

Elektronik burun (E-Nose), aromalara ait kokuları ayırt etmek için hızlı ölçümler yapabilen, uygun maliyetli ve güçlü bir elektronik cihazdır. Çevre, tıp ve gıda bilimleri gibi birçok disiplinde, temel olarak ürünlerin kalitesini değerlendirmek ve gıda bozulmasına atfedilebilecek kötü koku/tatları tespit etmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Gıda işleme sırasında açığa çıkan aromalardan sorumlu moleküller insan burnu tarafından tanınabildiğinden, işlenmiş gıda ürünlerinde meydana gelen değişiklikleri tespit etmek için E-Nose kullanmak mümkün olabilir. Ayrıca aromatik bileşiklerin oluşumu ile işleme sırasında kimyasal kirleticilerin oluşumu arasındaki ilişki nedeniyle E-Nose, toksik bileşiklerin oluşumunu tahmin etmek için bir araç olarak da kullanılabilir. Bu çalışmada 4 farklı gıdaya ait aroma ile aromasız kokunun analizini elde etmek ve sınıflandırmak için E-Nose sistemi kurulmuş ve kullanılmıştır. Buna göre DTC ve MLP ile özellikle çikolata ve karanfil aromalarına ait kokularda yüksek sınıflandırma doğruluğu ($\geq 90.00\%$), hassasiyet ($\geq 90.00\%$) ve özgüllük değerleri elde edilmiştir. Böylece bu sistemin, bu gıdalardaki ayrışım ve tahmin seviyelerini doğrudan ölçmedeki etkinliği ortaya konulmuştur. Bu sonuçlara dayanarak, E-Nose ve makine öğrenmesi modellerinin diğer gıda matrislerindeki etkinliğinin doğrulanması gelecek çalışmalar için faydalı olacaktır.

Yazar Katkıları

Yazarlar makaleye eşit derecede katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

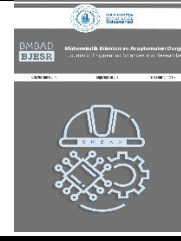
Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından BAP-21-1004-001 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] D. Ma, C. Liu, F. Wu, Z. Li, X. Wu, J. Gao, H. Zhao, Z. Zhang, "The Quality Detection and Recognition for Food Seasoning Based on an Artificial Olfactory System", IEEE Instrum. Meas. Mag., vol:25 no:9, pp. 42-52, 2022.
- [2] Y. Durmuş, A.F. Atasoy, "Application of multivariate machine learning methods to investigate organic compound content of different pepper spices", Food Biosci., vol:51, pp. 102216, 2023.
- [3] P.-A. Chen, C.-I. Liu, K.-R. Chen, "Determining the Relationship between Aroma and Quality of Bao-Chung Tea by Solid-Phase Microextraction (SPME) and Electronic Nose Analyses", Horticulturae, vol:9, pp. 930, 2023.
- [4] M. Mesías, J.D. Barea-Ramos, J. Lozano, F.J. Morales, D. Martín-Vertedor, "Application of an Electronic Nose Technology for the Prediction of Chemical Process Contaminants in Roasted Almonds", Chemosensors, vol:11, 2023.
- [5] A. Ren, A. Zahid, A. Zoha, S.A. Shah, M.A. Imran, A. Alomainy, Q.H. Abbasi, "Machine Learning Driven Approach Towards the Quality Assessment of Fresh Fruits Using Non-Invasive Sensing", IEEE Sens. J., vol:20, pp. 2075–2083, 2020.
- [6] M. Pardo, G. Sberveglieri, "Coffee analysis with an electronic nose", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol:51, pp. 1334–1339, 2002.
- [7] P.K. Kundu, A. Chatterjee, P.C. Panchariya, "Electronic Tongue System for Water Sample Authentication: A Slantlet-Transform-Based Approach", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol:60, pp. 1959–1966, 2011.
- [8] M. Anly Antony, R.S. Kumar, "A Comparative Study on Predicting Food Quality using Machine Learning

- Techniques”, in: 2021 7th Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Syst., IEEE, pp. 1771–1776, 2021.
- [9] J.X. Leon-Medina, M. Anaya, D.A. Tibaduiza, “New Electronic Tongue Sensor Array System for Accurate Liquor Beverage Classification”, *Sensors*, vol:23, pp. 6178, 2023.
- [10] H. Wang, Y. Sui, J. Liu, B. Kong, H. Li, L. Qin, Q. Chen, Analysis and comparison of the quality and flavour of traditional and conventional dry sausages collected from northeast China”, *Food Chem. X.*, vol:20, pp. 100979, 2023.
- [11] Y. Luo, R. Wang, H. Han, S. Wang, J. Ma, C. Yuan, Y. Ren, “Effects of dry-salting and brine-pickling on physicochemical properties and flavor of spaghetti squash shreds”, *Food Biosci.*, vol: 56, pp. 103268, 2023.
- [12] T. Feng, W. Cai, D. Chen, S. Song, L. Yao, M. Sun, H. Wang, C. Yu, Q. Liu, Y. Dang, “Analysis of umami taste and their contributing compounds in edible fungi based on electronic tongue, sensory evaluation, and chemical analysis”, *J. Food Sci.*, 2023.
- [13] H. Ji, D. Pu, W. Yan, Q. Zhang, M. Zuo, Y. Zhang, “Recent advances and application of machine learning in food flavor prediction and regulation”, *Trends Food Sci. Technol.*, vol:138, pp. 738–751, 2023.
- [14] M. Masuda, Y. Terada, R. Tsuji, S. Nakano, K. Ito, “Time-Series Sensory Analysis Provided Important TI Parameters for Masking the Beany Flavor of Soymilk”, *Foods*, vol: 12, pp. 2752, 2023.
- [15] L. Wu, X. Wang, J. Hao, N. Zhu, M. Wang, “Geographical Indication Characteristics of Aroma and Phenolic Acids of the Changping Strawberry”, *Foods*, vol:12, pp. 3889, 2023.
- [16] X. Zeng, R. Cao, Y. Xi, X. Li, M. Yu, J. Zhao, J. Cheng, J. Li, “Food flavor analysis 4.0: A cross-domain application of machine learning”, *Trends Food Sci. Technol.* Vol: 138, pp: 116–125, 2023
- [17] S. Wang, Q. Zhang, C. Liu, Z. Wang, J. Gao, X. Yang, Y. Lan, “Synergetic application of an E-tongue, E-nose and E-eye combined with CNN models and an attention mechanism to detect the origin of black pepper”, *Sensors Actuators A Phys.*, vol:357, pp. 114417, 2023.
- [18] N. Yuan, X. Chi, Q. Ye, H. Liu, N. Zheng, “Analysis of Volatile Organic Compounds in Milk during Heat Treatment Based on E-Nose”, *E-Tongue and HS-SPME-GC-MS*, *Foods*, vol:12, pp. 1071, 2023.
- [19] E. Alpaydm, “Introduction to Machine Learning”, MIT Presss, Second Edi, 2010.



Optimizing Hyperparameters for Enhanced Performance in Convolutional Neural Networks: A Study Using Transfer Learning Models

Evrişimli Sinir Ağlarında Gelişmiş Performans için Hiperparametrelerin Optimize Edilmesi: Transfer Öğrenme Modelleri Kullanılarak Yapılan Bir Çalışma

¹İbrahim AKSOY , ²Kemal ADEM 

¹Aksaray Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, 68100, Aksaray, TÜRKİYE

²Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, 58100, Sivas, TÜRKİYE

¹aksoy545@hotmail.com, ²kemaladem@sivas.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 13 January 2024

Accepted : 16 February 2024

Keywords:

Image Classification,
DenseNet, NASNetMobile,
Optimization Algorithm, CNN

ABSTRACT

Convolutional neural networks, inspired by the workings of biological neural networks, have proven highly successful in tasks like image data recognition, classification, and feature extraction. Yet, designing and implementing these networks pose certain challenges. One such challenge involves optimizing hyperparameters tailored to the specific model, dataset, and hardware. This study delved into how various hyperparameters impact the classification performance of convolutional neural network models. The investigation focused on parameters like the number of epochs, neurons, batch size, activation functions, optimization algorithms, and learning rate. Using the Keras library, experiments were conducted using NASNetMobile and DenseNet201 models—highlighted for their superior performance on the dataset. As a result of the studies, the accuracy rate of the NASNetMobile model increased by 6.1% from 0.617 to 0.678, and the accuracy rate of the DenseNet201 model increased by 11.55% from 0.668 to 0.786.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science.
Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 13 Ocak 2024

Kabul : 16 Şubat 2024

Anahtar Kelimeler:

Görüntü Sınıflandırma,
DenseNet, NASNetMobile,
Optimizasyon Algoritmaları,
ESA

ÖZET

Biyolojik sinir ağlarının işleyişinden esinlenen evrişimli sinir ağlarının görüntü verisi tanıma, sınıflandırma ve özellik çıkarma gibi görevlerde oldukça başarılı olduğu kanıtlanmıştır. Yine de, bu ağların tasarlanması ve uygulanması bazı zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu zorluklardan biri, belirli model, veri kümesi ve donanıma göre uyarlanmış hiperparametrelerin optimize edilmesidir. Bu çalışmada, çeşitli hiperparametrelerin evrişimli sinir ağı modellerinin sınıflandırma performansını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Araştırma epok sayısı, nöronlar, yığın boyutu, aktivasyon fonksiyonları, optimizasyon algoritmaları ve öğrenme oranı gibi parametrelere odaklanılmıştır. Keras kütüphanesi kullanılarak NASNetMobile ve DenseNet201 modelleri (veri kümesindeki üstün performansları nedeniyle vurgulanmıştır) kullanılarak deneyler yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde NASNetMobile modelinde 0,617 olan doğruluk oranı 0,678'ye kadar yükselerek % 6,1 oranında, DenseNet201 modelinde ise 0,668 olan doğruluk oranı 0,786'ya yükselerek %11,55 oranında artış sağlanmıştır.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi.
Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. INTRODUCTION

In what can be described as the information age, information is used not only by humans but also by computers through machine learning and artificial intelligence methods. Artificial neural networks are generally used in the learning process, which is one of the basic elements of artificial intelligence. Artificial neural networks (ANN), inspired by the working principles of the human brain, enable the development of systems that can solve complex problems, recognize patterns and make predictions [1].

Deep learning is one of the most widely used methods in pattern recognition, object detection, object tracking and classification. The basis of deep learning is multilayer artificial neural networks. In classical machine learning methods, attribute extraction and selection are performed by researchers, whereas in deep learning methods, features and their weights are determined by the model throughout the layers. Deep learning methods have gained popularity by relieving researchers from the burden of feature extraction and obtaining more useful features thanks to interconnected layers [2]. In deep learning models, it is usual to obtain different success performances depending on variables such as the problem itself, hardware, dataset, variety and size of the dataset. For this reason, there are specialized methods in different areas according to the problems in deep learning. Convolutional neural networks (CNN) are the most successful and most preferred deep method in image processing. CNN has a multilayer structure inspired by the functioning of the biological visual system. The ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC) was won by the CNN model Alexnet algorithm in 2012, and its success has gradually increased in the following years. CNN has become the most preferred deep learning model in many fields thanks to its high performance in image recognition and classification problems. When the literature is examined, it is observed that CNN is used not only in image processing but also in other data types such as natural language processing and time series [3].

In addition to this rise and success of CNN, the creation of a neural network model suitable for the problem and the selection of the best hyperparameters for this model is a very complex issue. In this study, it is aimed to observe the effect of different values of hyperparameters in CNN models on the classification performance of the model.

1.1. Related Works

Thanks to the successful developments in object detection, studies are carried out in many fields such as health, production and defense industry, security systems, electronics, design and architecture. Studies on CNNs and their parameters, which are the main elements of these studies, also make important contributions to the field.

In a study by Smith [4] on learning rates in deep neural networks, a cyclical approach was proposed to determine learning rates. In the study, this approach, called iterative learning rates, was tested with CIFAR-10 and CIFAR-100 datasets in ResNet and DenseNet models, and with ImageNet dataset in Alexnet and GoogLeNet models. Smith argued that this approach would be a practical method for people who train neural networks by reducing the assumptions in determining ideal learning rates. Bircanoğlu and Arica [5] compared the effects of commonly used Linear, Sigmoid, Tanh, Hard Sigmoid, Softsign, ReLU, Softplus, ELU, SeLU, Swish activation functions and Square activation function on classification performance. As a result of experimental studies with different datasets, it was stated that the best performing activation function varied according to the dataset, but generally good results were obtained with ReLU activation function in all datasets. In the study titled "Investigation of Hyper-Parameter Optimization Methods in Convolutional Neural Networks" published by Gülcü and Kuş [6], they examined genetic algorithm, particle swarm optimization, differential evolution and Bayesian optimization methods on CNN. In their study, as a result of their tests with different datasets, they stated that it is not possible to make a generalization to choose the best hyperparameter set and that hyperparameter optimization may vary according to the problem and dataset. In the study published by Seyyarer et al [7], the performance of optimization algorithms in classification success was compared using Caltech 101 and Caltech 256 datasets. In the study, the success rates of the optimization algorithms in classification with 64x64 image size, ReLU activation function and cross entropy error function were found as adadelta 86.88%, adagrad 71.25%, adam 92.31%, momentum 85.56%, rmsprop 40.26% and sgd 64.5%. It was also suggested to use gradient descent-based optimization algorithms (SGD, Momentum, Adam) to minimize the error in large datasets. Adem [8] investigated the effects of P+ FElU activation function which is a combination of FElU, ELU and ReLU activation functions. He made comparisons by working with MNIST, CIFAR-10 and CIFAR-100 datasets. It is stated that the P+ FElU activation function with flexible properties can effectively prevent the vanishing gradient. It is concluded that the proposed activation function outperforms ELU, SELU, MPELU, TReLU, ReLU and FElU activation functions. Liashchynskiy and Liashchynskiy [9] compared grid search, random search and genetic algorithm methods for hyperparameter optimization. As a result of the study, they stated that the grid search method takes too long and is costly, the random search method is faster, but this method cannot guarantee the best results, and the genetic algorithm method takes a long time to run, but this situation can be controlled with some variables. They concluded that the genetic algorithm method is preferable when there are more parameter options.

In this study, CNN models from the Keras deep learning library are used. In the selected model, 53 different trainings were performed to observe the effects of batch size, number of training epochs, optimization algorithms, activation functions, learning rate and number of neurons hyperparameters on model performance. The study is

expected to contribute to researchers in the selection and optimization of hyperparameters to be used in CNN models.

2. MATERIAL VE METHODS

2.1. Datasets

Two different datasets were used in this study. The datasets were obtained from the Kaggle platform, which has a lot of content in various fields. No pre-processing or editing was done on the datasets used. The first dataset is the dataset published on Kaggle under the name "Dogs & Cats Images" and contains images of dogs and cats taken from different angles [10]. The dataset consists of two classes, "cats" and "dogs", and a total of 10000 images. 8000 of the images are allocated to the training dataset and 2000 of the images are allocated to the test dataset with equal distribution to the two classes. The second dataset is a dataset published on kaggle.com under the name "pizza classification data" [11]. It consists of images of pizza and non-pizza dishes taken from different angles. The images are of different sizes with a maximum edge length of 512 pixels. The dataset consists of two classes, "pizza" and "not_pizza". A total of 1966 images, 983 each, are equally distributed in the two classes. Of the images in the dataset, 1600 images are allocated to the training set and 366 images are allocated to the test dataset.

2.2. Deep Learning and Libraries

Deep learning is a more advanced subtype of multilayer artificial neural networks. Deep learning models are composed of many layers, and each layer aims to extract features by taking the output of its predecessors. Since the first feed-forward multilayer deep learning model developed by Ivakhnenko and Lapa [12], there has been significant progress in deep learning models [13]. Since designing and training deep learning models is a difficult and costly task, open source deep learning libraries have been developed to help users in this sense. These libraries provide users with significant facilities to create learning algorithms [14]. In this study, TensorFlow is used as a sub-library and Keras library is used as a high-level library due to its ease of use and up-to-date nature.

2.3. Convolutional Neural Networks and Models Used

Inspired by the functioning of biological neural networks, CNN is one of the most successful and most preferred deep learning methods in image processing. Alexnet, an CNN model, won the ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC) in 2012 and its success gradually increased in the following years. CNN has become the most preferred deep learning model in many fields thanks to its high performance in image recognition and classification problems. Designers continue to improve these models and introduce new models every day. However, there are also libraries where popular models are brought together and made available for use. These libraries, which are easier to use than designing a new model, are widely used in CNN studies, especially in areas such as health, agriculture, production and industry. In this sense, the Keras library is a library that offers very up-to-date and popular CNN models. In this study, experimental studies were conducted on 27 CNN models in the Keras library. In these models, trainings were performed with two datasets and the models with the highest accuracy rates, DenseNet201 and NASNetMobile, are given in the subsections.

2.3.1. DenseNet

The basis of the DenseNet architecture is the dense blocks in the convolutional layers, which give the model its name. Unlike traditional CNN models that have a hierarchical structure, DenseNet is that each layer is fed with the outputs of all previous layers instead of only the outputs of the previous layer [15]. The layer structure of the DenseNet architecture is shown in Figure 1.

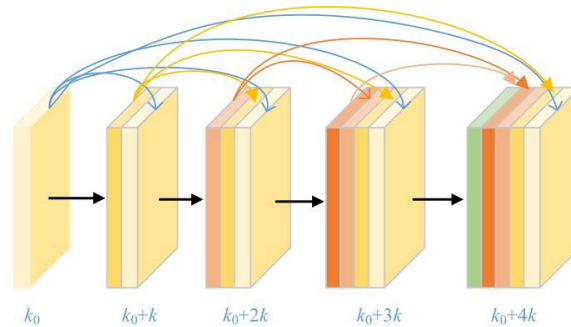


Figure 1. DenseNet layer structure [16].

2.3.2. NASNetMobile

NASNetMobile is an artificial neural network model designed by Google in 2017 through deep learning based on the Neural Architecture Search (NAS) method [17]. NASNet is composed of cells that can be improved by

reinforcement learning. In these cells, several convolution and pooling operations are performed and repeated many times according to the capacity of the network. The architecture of the NASNetMobile model is given in Figure 2.

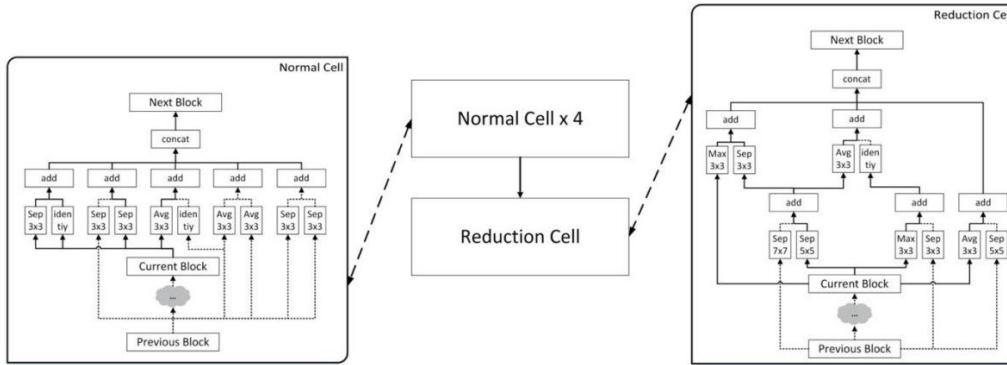


Figure 2. NASNetMobile layer structure [18].

2.4. Hyperparameters in Convolutional Neural Networks

Hyperparameters are predetermined control parameters of the model used in training [19]. Some of the parameters used in CNN models are layer-specific and some are considered as common parameters of the model. These parameters and their grouping according to layers are shown in Table 1.

Table 1. Hyperparameters that can be optimized [6]

Convolution	Pooling	Fully-connected	General
<ul style="list-style-type: none"> • Filter size • Number of filters • Stride • Padding • Activation function • Number of layers • Initial number of layers 	<ul style="list-style-type: none"> • Filter size • Stride • Centering detection. • Number of layers 	<ul style="list-style-type: none"> • Number of neurons • Number of layers • Initial number of layers 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimization method • Batch size • Learning rate • Initial learning rate • Dropout rate • Dropout active • Regularization method • Regularization rate • Weight initializer • Weight reducer • Weight multiplier • Weight normalization • Weight penalty value • Number of iterations • Momentum • Bias active (bias) • Bias inception • Bias onset rate • Gauss ratio

2.4.1. Number of Epoch

When training a neural network model, the training dataset is usually passed through the network multiple times. The parameter that determines how many times the entire training dataset is run in the network's learning algorithm is called the number of training rounds (Epoch) [20]. The number of epochs can take a value between one and infinity. In the literature, epoch numbers are usually chosen from high values such as 100, 200, 500 [21]. However, a higher number of epochs does not necessarily mean that the network will be trained better or achieve better success values. However, the higher the number of epochs, the more time it will take to train the model [22].

2.4.2. Number of Neurons

In neural networks, the number of neurons is one of the parameters that have a significant impact on the complexity and learning ability of the network. Neurons are connected to the layers with the weights of the data determined in the network and the output value of each neuron is used as the input data of the next neuron [23]. As the number of neurons increases, the learning capacity of the network is expected to increase, but this is not always the case. Using too many neurons in the architecture of the network may lead to overfitting and weakening of the generalization ability [24]. In addition, a large number of neurons increases the size and computational load of the network. If the hardware capacity is low, this has a negative impact in terms of time. If the number of neurons is less than the required number, the model may not be able to represent the dataset [25].

2.4.3. Batch Size

When training a neural network model, it is not a preferred method to pass all the training data through the network at the same time. Instead, the dataset is passed through the network step by step in forward and backward propagation. The amount of data in these chunks or the number of samples taken from the dataset in each training round is called the batch size [26]. In the literature, it is seen that the batch size is usually composed of 32, 64 and 128 samples [21].

2.4.4. Activation Functions

In CNN models, activation functions are used to transmit the output values produced by neurons in one layer to the next layer. Activation functions are used to determine the threshold values of the output values in the layers and to decide whether they will be transmitted to the next layer, and therefore whether the artificial neural cell will be active [27]. Since CNN is generally used for nonlinear classifications, activation functions are also chosen from nonlinear functions. These functions usually produce output values in the range $[-1,1]$ or $[0,1]$. The most commonly used activation functions and their mathematical formulas in the Keras library are given in Table-2.

Table 2. Activation Functions [28]

Activation Function	Mathematical Formula
ReLU	$\max(0, x)$
Sigmoid	$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$
Tanh	$\tanh(x)$
ELU	$\begin{cases} x & x \geq 0 \\ \alpha(e^x - 1) & x < 0 \end{cases}$
Softplus	$\ln(1 + e^x)$

Although researchers generally use the popular activation functions available in the Keras library, there are also studies using activation functions that are newly introduced or created by combining different functions. Kılıçarslan et al. used new activation functions such as RSigELU and Superior Exponential (SupEx) and obtained better results compared to popular functions [29-30].

2.4.5. Optimization Methods

In artificial neural networks, optimization methods are used to find the best difference between the output value given by the network and the actual value. In the literature, these optimization methods are also called gradient descent [7]. In CNN applications, the goal is often not to minimize the error rate but to make the best generalization. It is known that the choice of optimization algorithm used in the CNN model will be effective in making this generalization. However, no algorithm guarantees the best solution, but some methods are used to help choose the best optimization algorithm for the model [31]. The most commonly used algorithms as optimization methods in deep learning are SGD, Adagrad, RMSProp, Adadelta, Adam and Adamax [32].

2.4.6. Learning Rate

Learning rate is a coefficient used in convergence calculations in optimization algorithms. Learning rate is one of the most important parameters in the training of neural networks [4]. It is known that setting this ratio too large will fail to achieve the convergence goal and even cause divergence, while setting it too small will provide a better convergence with small steps [33]. However, as the learning rate becomes smaller, the training time will increase as the optimization algorithm will proceed in smaller steps. It is very difficult to precisely adjust the learning rate in optimization algorithms [26].

3. RESULTS

The Google Colab platform was used to design the CNN models used in the study and to implement the training tasks. The testing of the transfer learning models and the applications with the second dataset were carried out with 12.7 GB RAM, 15 GB GPU and 72.8 GB disk space hardware provided with the standard Colab membership. The applications with the first dataset were run with 85 GB RAM, 40 GB Tesla A100 GPU and 170 GB disk space provided with Colab Pro membership.

In order to determine the model to be used in the study, performance tests were performed on 27 models in the Keras library with our datasets. In order to examine the effects of the parameters, the models were used without weights pre-trained with the ImageNet dataset. The parameter values used in these trainings are as follows;

Number of training rounds (Epoch) = 10

Package size = 32

Activation function = ReLU,

Optimization algorithm = Adam
 Learning rate = 0.001

Table 3. Performance results of CNN models in Keras

First Dataset Results					Second Dataset Results				
No	Model	Accuracy	Epochs	Time (sec.)	No	Model	Accuracy	Epochs	Time (sec.)
1	NASNetMobile	0.6175	10	273.46	1	DenseNet201	0.6687	10	66.10
2	ResNet101V2	0.6167	10	267.62	2	InceptionResNetV2	0.6675	10	85.16
3	DenseNet169	0.6162	10	278.22	3	NASNetMobile	0.6667	10	70.95
4	ResNet50	0.6150	10	257.73	4	DenseNet121	0.6562	10	70.56
5	DenseNet201	0.6113	10	280.25	5	ResNet152V2	0.6438	10	95.95
6	ResNet152V2	0.6100	10	279.85	6	ResNet101V2	0.6375	10	68.71
7	DenseNet121	0.6087	10	282.77	7	DenseNet169	0.6313	10	68.42
8	ResNet50V2	0.6012	10	258.21	8	ResNet50	0.6187	10	63.61
9	InceptionResNetV2	0.5900	10	286.43	9	ResNet50V2	0.6125	10	62.77
10	VGG16	0.5838	10	256.08	10	InceptionV3	0.5250	10	61.22
11	VGG19	0.5038	10	264.16	11	EfficientNetB6	0.4750	10	72.89
12	ResNet152	0.5038	10	285.43	12	EfficientNetB3	0.4750	10	70.71
13	ResNet101	0.5038	10	274.85	13	VGG19	0.4750	10	54.21
14	Xception	0.5038	10	258.15	14	VGG16	0.4750	10	63.87
15	EfficientNetB7	0.5038	10	306.26	15	EfficientNetB0	0.4750	10	68.57
16	EfficientNetB2	0.5038	10	268.53	16	EfficientNetB1	0.4750	10	67.11
17	EfficientNetB1	0.5038	10	283.10	17	EfficientNetB2	0.4750	10	59.88
18	EfficientNetB0	0.5038	10	261.37	18	ResNet152	0.4750	10	92.00
19	MobileNet	0.4963	10	251.58	19	ResNet101	0.4750	10	79.33
20	MobileNetV3Large	0.4963	10	270.40	20	EfficientNetB7	0.4750	10	75.78
21	MobileNetV3Small	0.4963	10	251.78	21	EfficientNetB4	0.4750	10	77.36
22	MobileNetV2	0.4963	10	261.31	22	MobileNetV3Small	0.4750	10	58.07
23	EfficientNetB6	0.4963	10	278.30	23	MobileNetV3Large	0.4750	10	63.32
24	EfficientNetB5	0.4963	10	292.48	24	MobileNet	0.4750	10	51.30
25	EfficientNetB4	0.4963	10	293.12	25	MobileNetV2	0.4750	10	47.62
26	EfficientNetB3	0.4963	10	271.77	26	EfficientNetB5	0.4750	10	74.51
27	InceptionV3	0.4963	10	261.88	27	Xception	0.4750	10	64.10

In the applications with the first dataset, the best classification performance was obtained with the "NASNetMobile" model. In the applications with the second dataset, the best classification performance was obtained with the "DenseNet201" model. We continued our study with the models with the best performance in the two datasets.

In this study, experimental studies were conducted on the number of epochs, batch size, activation function, optimization methods, learning rate and number of neurons among the parameters given in Table 1. These studies were carried out separately for the models where the best classification performance was obtained for both datasets. Firstly, the number of epoch's parameter was varied with 5, 10, 25 and 50 values and the results are given in Table 3.

Table 4. Training results by number of epochs

First Dataset					Second Dataset						
No	Model	Epochs	Loss	Accuracy	Time (sec.)	No	Model	Epochs	Loss	Accuracy	Time (sec.)
1	NASNetMobile	5	0.6936	0.5615	359	5	DenseNet201	5	0.5441	0.6639	73
2	NASNetMobile	10	0.6407	0.62	528	6	DenseNet201	10	0.5221	0.7459	174
3	NASNetMobile	25	0.6337	0.627	1296	7	DenseNet201	25	0.5268	0.724	350
4	NASNetMobile	50	0.6534	0.6005	2536	8	DenseNet201	50	0.5673	0.7022	776

When Table is examined, it is seen that the highest accuracy rate was obtained at 25 epochs in the training of NASNetMobile model with the first dataset, and the highest accuracy rate was obtained with 10 epochs in the training of DenseNet201 model with the second dataset. In the number of neurons parameter, experiments were performed on 32, 64, 128, 256 and 512 values.

As can be seen in Table 5, the number of neurons providing the highest accuracy rate for both models was 256. As the number of neurons increases, the learning capacity of the network is expected to increase, but using more neurons than necessary may lead to overfitting and weakening of the generalization ability.

Batch size is one of the important parameters that should be adjusted according to the dataset. In this study, the batch size was changed to 8, 16, 32 and 64 and both datasets were trained with the specified models and the results are given in Tables 6 and 7.

Table 5. Training results by neuron number

		First Dataset					Second Dataset						
No Model		Epoch	Neuron	Loss	Accuracy	Time	No Model	Epoch	Neuron	Loss	Accuracy	Time	
9	NASNetMobile	25	32	0.5255	0.6315	808	14	DenseNet201	10	32	0.5255	0.6967	112
10	NASNetMobile	25	64	0.5047	0.639	806	15	DenseNet201	10	64	0.5047	0.6749	104
11	NASNetMobile	25	128	0.4897	0.6355	805	16	DenseNet201	10	128	0.4897	0.7486	104
12	NASNetMobile	25	256	0.5244	0.6535	804	17	DenseNet201	10	256	0.5244	0.776	103
13	NASNetMobile	25	512	0.5126	0.6525	806	18	DenseNet201	10	512	0.5124	0.7541	104

Table 6. Batch size training results with the first dataset

No	Model	Epochs	Neuron	Batch Size	Loss	Accuracy	Time (sec)
19	NASNetMobile	25	256	8	0.5986	0.6825	1287
20	NASNetMobile	25	256	16	0.6342	0.625	1206
21	NASNetMobile	25	256	32	0.6532	0.6015	1083
22	NASNetMobile	25	256	64	0.6369	0.6355	1181

Table 7. Batch size training results with the second dataset

No	Model	Epochs	Neuron	Batch Size	Loss	Accuracy	Time (sec)
23	DenseNet201	10	256	8	0.5017	0.7787	194
24	DenseNet201	10	256	16	0.5165	0.7568	178
25	DenseNet201	10	256	32	0.5205	0.7541	180
26	DenseNet201	10	256	64	0.5603	0.735	196

The smaller the batch size, the more number of times the network is trained. It is observed that this leads to a certain increase in the performance of the model. However, Table 6 shows that as the batch size decreases, the training time increases due to the increase in the number of iterations. It should be considered that this may be a disadvantage in studies with larger datasets. In this study, the highest performance among the two models was achieved with a batch size of 8.

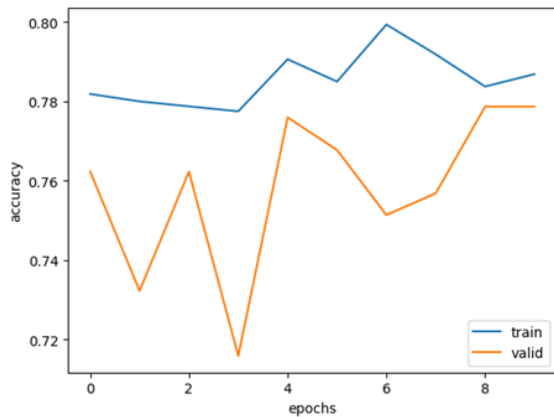


Figure 3. Accuracy graph of 8 batch size training.

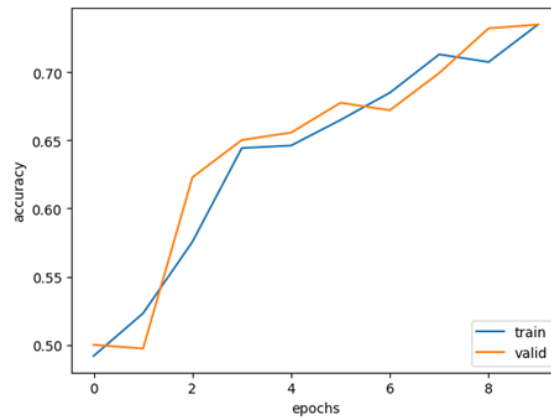


Figure 4. Accuracy graph of 64 batch size training.

As can be seen in Figure 3, the fact that the training accuracy rate is more consistent while the test accuracy rate shows a fluctuating graph can be attributed to the small batch size. This can be explained by the fact that when the batch size given for testing is small, the number of samples with high or low discriminability is more likely to be unevenly distributed.

As for the activation functions, six different activation functions were used in the intermediate layers: ELU, ReLU, Sigmoid, Softmax, Softplus, Tanh. The results obtained according to the models in these studies are shown in Table 8.

As seen in Table 8, the best classification performances were obtained with the ELU activation function in the DenseNet201 model, and with the Softplus and ReLU activation functions in the NASNetMobile model.

According to the results, although good results are obtained with the ReLU activation function for both models, it should be tested with more models and datasets in order to make generalizations. Considering the properties of activation functions, different functions should be tested and the most appropriate one for the dataset and model should be decided.

One of the parameters examined in the study is optimization algorithms. Seven different optimization algorithms,

Table 8. Results according to activation functions

No	Model	Epochs	Neuron	Batch Size	Activation Functions	Accuracy	Time (sec)
27	DenseNet201	10	256	8	ELU	0.7842	139.74
28	DenseNet201	10	256	8	ReLU	0.7705	142.23
29	DenseNet201	10	256	8	Tanh	0.7623	129.66
30	DenseNet201	10	256	8	Softplus	0.7322	131.92
31	DenseNet201	10	256	8	Sigmoid	0.6940	137.09
32	DenseNet201	10	256	8	Softmax	0.5000	140.85
33	NASNetMobile	25	256	8	Softplus	0.6480	1018
34	NASNetMobile	25	256	8	ReLU	0.6480	1127
35	NASNetMobile	25	256	8	Sigmoid	0.6365	1024
36	NASNetMobile	25	256	8	ELU	0.6070	1129
37	NASNetMobile	25	256	8	Tanh	0.5000	1078
38	NASNetMobile	25	256	8	Softmax	0.5000	1013

namely Adadelta, Adagrad, Adam, Adamax, Nadam, SGD and RMSprop, were used for model training and their classification performances are presented in Table 9.

Table 9. Result performance of optimization functions

No	Model	Epochs	Neuron	Batch Size	Activation Functions	Optimization Algorithms	Accuracy	Time (sec)
34	DenseNet201	10	256	8	ELU	RMSprop	0.7732	127.90
35	DenseNet201	10	256	8	ELU	Adamax	0.7377	116.71
36	DenseNet201	10	256	8	ELU	Nadam	0.7322	128.04
37	DenseNet201	10	256	8	ELU	Adam	0.7319	116.34
38	DenseNet201	10	256	8	ELU	Adagrad	0.5956	115.91
39	DenseNet201	10	256	8	ELU	Adadelta	0.5000	115.12
40	DenseNet201	10	256	8	ELU	SGD	0.5000	116.27
41	NASNetMobile	25	256	8	Softplus	Adam	0.6525	1029.47
42	NASNetMobile	25	256	16	Softplus	Adagrad	0.6295	1026.14
43	NASNetMobile	25	256	32	Softplus	SGD	0.6280	1034.05
44	NASNetMobile	25	256	48	Softplus	Nadam	0.6235	1041.37
45	NASNetMobile	25	256	64	Softplus	Adamax	0.6210	1025.61
46	NASNetMobile	25	256	80	Softplus	RMSprop	0.6170	1034.03
47	NASNetMobile	25	256	96	Softplus	Adadelta	0.6025	1025.97

As seen in Table 9, the highest accuracy values were obtained with the RMSprop algorithm in training with the DenseNet201 model and with the Adam algorithm in training with the NASNetMobile model. The accuracy graphs of the optimization algorithms according to the models are given in Figures 5 and 6.

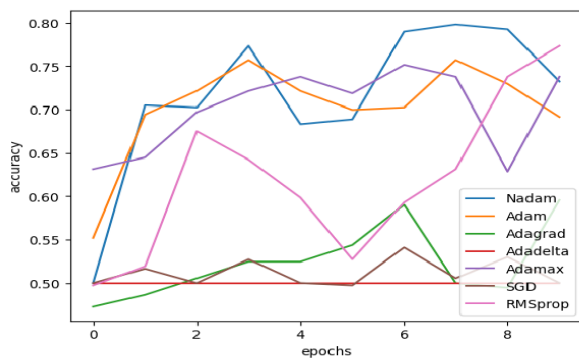


Figure 5. Accuracy graph of optimization algorithms with DenseNet201.

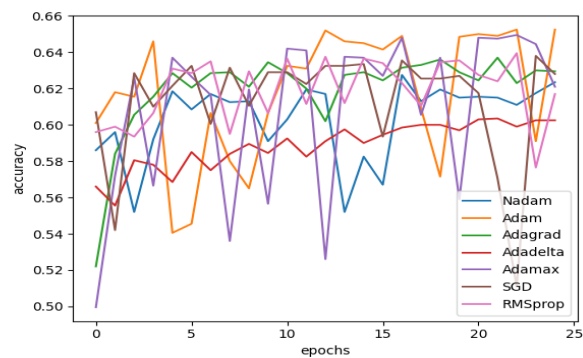


Figure 6. Accuracy graph of algorithms with NASNetMobile.

In the graph shown in Figure 5, the optimization algorithms have more distant performances from each other. This difference is thought to be due to the dataset rather than the model. Since the dataset used in the DenseNet201 model is smaller, a consistent result could not be obtained with some optimization algorithms in training. Figure 6 shows that in the NASNetMobile model, RMSprop, Adadelta and Adagrad algorithms draw a more consistent graph while Adam, Adamax, Nadam and SGD algorithms have a more fluctuating training process. On the other hand, the highest accuracy rate in the NASNetMobile model was obtained with the Adam optimization algorithm. As can be seen in the results of the training tasks performed in our study, the optimization algorithms that achieve the best performance on different models and datasets vary. Therefore, no generalization can be made about any

optimization algorithm. It is recommended to try different algorithms to find the most suitable optimization method for the datasets and models.

In CNN, the learning rate is the parameter that determines how large steps the network's weight updates will be made. In this study, training was performed with values between 0.01 and 0.0001 for the learning rate parameter. In order to better observe the effects of this parameter, the models were trained for 100 epochs unlike the previous trainings. The results obtained after these trainings are given in Table 10.

Table 10. Results of RMSprop and Adam algorithms according to learning rates

No	Model	Dataset	Epochs	Optimization Algorithms	Learning Rate	Accuracy	Time (sec)
48	DenseNet201	pizza classification data	100	RMSprop	0.01	0.6585	1251
49	DenseNet201	pizza classification data	100	RMSprop	0.001	0.7860	1269
50	DenseNet201	pizza classification data	100	RMSprop	0.0001	0.7486	1249
51	NASNetMobile	Dogs & Cats Images	100	Adam	0.01	0.6	1028
52	NASNetMobile	Dogs & Cats Images	100	Adam	0.001	0.6286	1033
53	NASNetMobile	Dogs & Cats Images	100	Adam	0.0001	0.6786	1011

As seen in Table 10, the RMSprop algorithm achieved the highest accuracy performance with a learning rate of 0.001 and the Adam algorithm achieved the highest accuracy performance with a learning rate of 0.0001. It is observed that the Adam algorithm gives better results at a lower learning rate than the RMSprop algorithm. This shows that the ideal learning rates may be different according to the optimization algorithm.

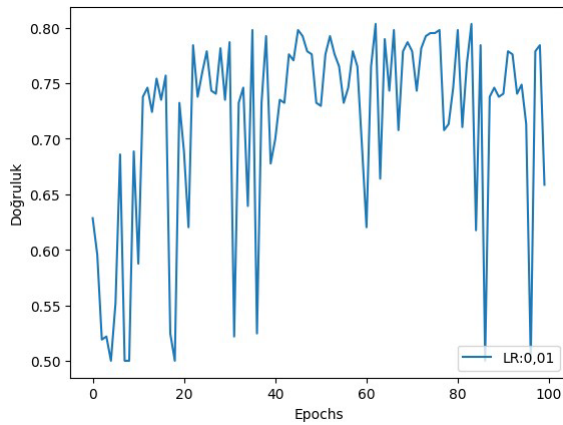


Figure 7. Accuracy of 0.01 learning rate in the RMSprop algorithm.

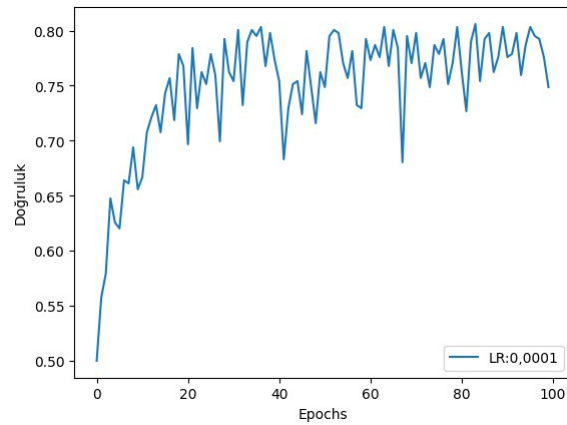


Figure 8. Accuracy of 0.0001 learning rate in the RMSprop algorithm.

Looking at the accuracy/epoch graphs given in Figures 7 and 8, it can be seen that when the learning rate is high, the training progresses in a more fluctuating structure, while as the learning rate decreases, the fluctuation decreases and it becomes more consistent. In summary, in this study, the NASNetMobile model achieved the highest performance with 10 epochs, 256 number of neurons, 8 batch sizes, Softplus activation function, Adam optimization algorithm and 0.0001 learning rate, while the DenseNet201 model achieved the highest performance with 25 epochs, 256 number of neurons, 8 batch sizes, ELU activation function, RMSprop optimization algorithm and 0.001 learning rate.

4. CONCLUSION

In order to examine the effect of the hyperparameters used in CNN on the classification performance of the model, 58 trainings were performed on NASNetMobile and DenseNet201 models with two different datasets. As a result of the trainings for the number of training rounds, it was seen that the ideal values of this parameter can be reached with different numbers according to the model and dataset. Considering the datasets used in the study, it can be said that larger datasets should be trained with higher epoch values. In the experiments on the number of neurons, it was observed that increasing the number of neurons in both models increased the learning capacity of the network and thus the classification performance. In the training studies on batch size, it was observed that the accuracy rate increased as the batch size decreased for both models. However, it should be noted that when the batch size is small, the number of iterations will be larger and the training time will be longer. As a result of the experiments with activation functions and optimization algorithms, no characterization could be made according to the models or dataset. Considering the properties of these parameters, different values should be tried and the most suitable one for the dataset and the model should be decided. Finally, it was observed that training was more unstable when the learning rates took large values, while training was more consistent with small learning rates. However, it should be kept in mind that small learning rates may cause the training to slow down, especially for large datasets. As a result of the parameter changes made on the CNN models in the study; in the NASNetMobilemodel, the

accuracy rate increased from 61.75% to 68.25%, an increase of 6.5%. In the DenseNet201 model, the accuracy increased from 66.87% to 78.42%, an increase of 11.55%. Although these findings show that hyperparameters have an impact on the classification performance of CNN models, our study also has some limitations. The values of only some of the hyperparameters used in the CNN models were selected and analyzed in certain ranges. Experiments were conducted for only a part of the probability space consisting of all values that all hyperparameters can take. In addition to the hyperparameters, the dataset used in the model also has an impact on performance. Training the models with two datasets is another limitation of the study. In the continuation of the study, experiments can be conducted on CNN models with different value ranges of different hyperparameters and more datasets. In addition, the examination of the parameters in Vision Transformers architectures, which is a new and impressive approach in the field of image processing, can be added to the continuation of the study.

Author Contributions

All stages of the study were done by the authors.

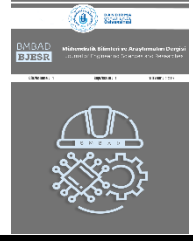
Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

REFERENCES

- [1] E. Öztemel “Yapay sinir ağları”, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2003.
- [2] S. Aktürk and K. Serbest, “Nesne Tespiti İçin Derin Öğrenme Kütüphanelerinin İncelenmesi”, Journal of Smart Systems Research, vol. 3, no. 2, pp. 97-119, 2022.
- [3] A. Onan, “Evrışimli sinir ağı mimarilerine dayalı Türkçe duygu analizi”, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, pp. 374-380, 2020.
- [4] L.N. Smith, “Cyclical learning rates for training neural networks”, IEEE winter conference on applications of computer vision (WACV), pp. 464-472, 2017.
- [5] C. Bircanoğlu and N. Arıca, “Yapay Sinir Ağlarında Aktivasyon Fonksiyonlarının Karşılaştırılması”, in 2018 26th signal processing and communications applications conference (SIU). IEEE, pp. 1-4, İzmir, 2018.
- [6] A. Gülcü and Z. Kuş, “Konvolüsyonel sinir ağlarında hiper-parametre optimizasyonu yöntemlerinin incelenmesi”, Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, pp. 503-522, 2019.
- [7] E. Seyyarer, F. Ayata, T. Uçkan and A. Karci, “Derin öğrenmede kullanılan optimizasyon algoritmalarının uygulanması ve kıyaslanması”, Computer Science, vol. 5, no. 2, pp. 90-98, 2020.
- [8] K. Adem, “P+ FELU: Flexible and trainable fast exponential linear unit for deep learning architectures”, Neural Computing and Applications, vol. 34, no. 24, pp. 21729-21740, 2022.
- [9] P. Liashchynskiy and P. Liashchynskiy, “Grid search, random search, genetic algorithm: a big comparison for NAS”, arXiv preprint arXiv:1912.06059, 2019.
- [10] Kaggle, “Dogs & Cats Images”, url: <https://www.kaggle.com/datasets/chetankv/dogs-cats-images>, (Access Date: 01/01/2024).
- [11] Kaggle, “pizza classification data”, url: <https://www.kaggle.com/datasets/projectshs/pizza-classification-data>, (Access Date: 01/01/2024).
- [12] A.G. Ivakhnenko and V.G. Lapa, “Cybernetic predicting devices”, 1966.
- [13] A. Şeker, B. Diri and H. Balık, “Derin öğrenme yöntemleri ve uygulamaları hakkında bir inceleme”, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, vol. 3, no. 3, pp. 47-64, 2017.
- [14] Ö. İnik and E. Ülker, “Derin Öğrenmede Kullanılan Veri Setleri ve Yazılım Kütüphaneleri”, International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT) 2017, Tokat, 2017.
- [15] F.D. Adhinata, D.P. Rakhmadani, M. Wibowo and A. Jayadi, “A deep learning using DenseNet201 to detect masked or non-masked face”, JUITA: Jurnal Informatika, vol. 9, no. 1, pp. 115-121, 2021.
- [16] S.H. Wang and Y.D. Zhang, “DenseNet-201-based deep neural network with composite learning factor and precomputation for multiple sclerosis classification”, ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM), vol. 16, no. 2, pp. 1-19, 2020.
- [17] A.O. Adedoja, P.A. Owolawi, T. Mapayi and C. Tu, “Intelligent Mobile Plant Disease Diagnostic System Using NASNet-Mobile Deep Learning”, IAENG International Journal of Computer Science, vol. 49, no. 1, pp. 216-231, 2022.
- [18] A. Daşgın, “Covid19 Yayılımını Azaltmak İçin Yüz Maskesinin Evrışimsel Sinir Ağı Modelleri İle Tespiti”, Master’s thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, 2023.
- [19] C. Doğan, “İstatistiksel ve Makine Öğrenme ile Derin Sinir Ağlarında Hiper-Parametre Seçimi İçin Melez Yaklaşım”, Master’s thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2021.
- [20] F. Kurt, “Evrışimli Sinir Ağlarında Hiper Parametrelerin Etkisinin İncelenmesi”, Master’s thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2018.
- [21] J. Brownlee, “What is the Difference Between a Batch and an Epoch in a Neural Network”, Machine Learning Mastery, vol. 20, 2018.

- [22] W. Hastomo, A.S.B. Karno, N. Kalbuana, and A. Meiriki, "Characteristic parameters of epoch deep learning to predict Covid-19 data in Indonesia", *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1933, no. 1, pp. 1-4, 2021.
- [23] M.A. Bülbül and C. Öztürk, "Optimization, modeling and implementation of plant water consumption control using genetic algorithm and artificial neural network in a hybrid structure", *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 47, no. 2, pp. 2329-2343, 2022.
- [24] A. Zhang, Z.C. Lipton, M. Li and A.J. Smola, "Dive into deep learning", *arXiv preprint arXiv:2106.11342*, 2021.
- [25] T. Ünal, Ü. Çiftçi and N.N. Urgan, "Bir Gizli Katmanlı Yapay Sinir Ağlarında Optimal Nöron Sayısının İncelenmesi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, vol. 17, no. 2, pp. 303-325, 2022.
- [26] L.N. Smith, "A disciplined approach to neural network hyper-parameters: Part 1-learning rate, batch size, momentum, and weight decay", *arXiv preprint arXiv:1803.09820*, 2018.
- [27] G. Ser and C.T. Bati, "Derin sinir ağları ile en iyi modelin belirlenmesi: mantar verileri üzerine Keras uygulaması", *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, vol. 29, no. 3, pp. 406-417, 2019.
- [28] D. Kulshrestha, "Activation Functions in Machine Learning", url: <https://iq.opengenus.org/activation-functions-ml/>, (Access Date: 03.12.2023).
- [29] S. Kılıçarslan, C. Közkurt, S. Baş and A. Elen, "Detection and classification of pneumonia using novel Superior Exponential (SupEx) activation function in convolutional neural networks", *Expert Systems with Applications*, vol. 217, no. 119503, 2023.
- [30] S. Kılıçarslan and M. Çelik, "RSigELU: A nonlinear activation function for deep neural networks", *Expert Systems with Applications*, vol. 174, no. 114805, 2021.
- [31] M.A. Bülbül, "Optimization of artificial neural network structure and hyperparameters in hybrid model by genetic algorithm: iOS–android application for breast cancer diagnosis/prediction", *The Journal of Supercomputing*, pp. 1-21, 2023.
- [32] R. Sun, "Optimization for deep learning: theory and algorithms", *arXiv preprint arXiv:1912.08957*, 2019.
- [33] Y. Bengio, "Practical recommendations for gradient-based training of deep architectures", *Neural Networks: Tricks of the Trade: Second Edition*, pp. 437-478, 2012.



Değiştirilmiş Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması ile Redüktör Tasarımının Simülasyonu

Simulation of Speed Reducer Design with the Modified Ant Colony Optimization Algorithm

¹Kürşat TANRIVER , ²Mustafa AY 

¹Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

²Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İstanbul, Türkiye

¹k.tanriver@hotmail.com, ²muay@marmara.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received :11 February 2024

Accepted: 10 March 2024

Keywords:

Ant Colony, Engineering Design, MATLAB, Optimization, Speed Reducer Design

ABSTRACT

This paper focuses on the innovative application of the Modified Ant Colony Optimization (DEKKO) algorithm for the optimization of speed reducer engineering problem. The main contribution of this study is the development of DEKKO, which combines the advantageous features of Ant Colony Algorithm (KKO). The aim of DEKKO is to achieve better results than those previously solved with different techniques in the literature by modifying KKO. The algorithm was run 20 times until the most effective result was achieved, with the best performance outcome of 3105. 8779 vector unit obtained at 14 iterations. This process utilized 100 ants and was completed in 66.81 seconds. When compared with similar results in the literature, DEKKO has achieved success with a solution that stands out among the literature results. Users can easily obtain information about speed reducer design and pre-production through simulation using the DEKKO algorithm. This aims to contribute to cost and time savings.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 11 Şubat 2024

Kabul : 10 Mart 2024

Anahtar Kelimeler:

Karınca Kolonisi, Mühendislik Tasarımı, MATLAB, Optimizasyon, Redüktör Tasarımı

ÖZET

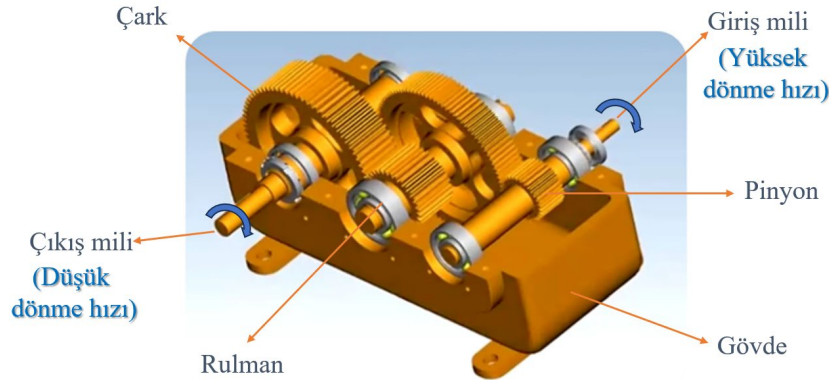
Bu makale, değiştirilmiş karınca kolonisi optimizasyonu (DEKKO) algoritmasının redüktör mühendislik probleminin çözümüne yeniden odaklanılmasına dayanmaktadır. DEKKO, Karınca Kolonisi Algoritmasının (KKO) avantajlı özelliklerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. DEKKO ile KKO' da değişiklik yapılarak daha önceden literatürde farklı tekniklerle yapılan çalışmalardan daha iyi sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır. Algoritma, en etkili sonuç elde edilene kadar 20 kez çalıştırılmıştır. İterasyon sayısı 14 olmak üzere en iyi performans sonucu olarak 3105,8779 vektör birim sonucu elde edilmiştir. Bu işlem, algoritmada 100 adet karınca kullanılarak 66,81 saniyede tamamlanmıştır. Literatürdeki sonuçlarla karşılaştırıldığında DEKKO, literatür sonuçları arasında olduğu ve başarılı bir çözümle sonuçlandırıldığı gözlemlenmiştir. Kullanıcılar, DEKKO algoritmasını kullanarak simülasyon yoluyla redüktör tasarımı ve ön üretimi hakkında kolaylıkla bilgi edinebilmektedir. Böylelikle maliyet ve zaman tasarrufu açısından kullanıcılara katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Optimizasyon, belirlenen hedefler ve kısıtlamalar içinde en iyi sonucu elde etmek için genellikle kullanılan bir yöntemdir. Optimizasyon adımları, temel yapılandırmaları oluşturmayı, tasarım değişkenlerini tanımlamayı, amaç fonksiyonunu formüle etmeyi, uygun optimizasyon problemlerini seçmeyi ve uygulamayı içermektedir [1]. Optimizasyon teknikleri genellikle matematiksel ve meta-sezgisel yöntemler olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Matematiksel yöntemler, en doğru analitik çözümü bulmayı amaçlarken, meta-sezgisel yöntemler daha pratik bir yaklaşım sergilemektedir [2-3]. Mühendislik problemlerini çözmek için bazı meta-sezgisel yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır [4]. Bunlar arasında karınca kolonisi optimizasyonu (KKO) [6], genetik algoritma (GA) [6], parçacık sürü optimizasyonu (PSO) [7], yarasa algoritması (YA) [8], ateşböceği algoritması (ABA) [9], kelebek algoritması (KA) [10], yapay arı kolonisi (YAK) [11], yapay bağışıklık sistemi (YBS) [12] ve kızıl tilki optimizasyonu (KTO) [13] gibi algoritmalar bulunmaktadır. Görüldüğü gibi meta-sezgisel yaklaşımlar içinde karınca, yarasa ve ateşböceği gibi hayvanların içgüdüsel davranışları üzerine çalışmalar yapılabilmektedir. Bu içgüdüler, karıncaların yiyecek arama, kuşların toplanma ve balıkların sürüler halinde hareket etme gibi doğal davranışlarını organize etmelerine olanak tanımaktadır [14]. Bu bağlamda bilim insanları böcek davranışlarını incelemiş ve başarılı optimizasyon algoritmaları geliştirmişlerdir. Mühendislik problemlerini çözmede yüksek esneklik düzeyine sahip bu teknikler, birçok bilimsel alan ve mühendislik problemlerinin çözümünde başarıyla uygulanmıştır [15].

Son yıllarda çözülen problemin özelliklerine ve karmaşıklığına bağlı olarak meta-sezgisel algoritmaların nispeten daha iyi yönlerini bir araya getirilerek karma ve iyileştirilmiş algoritmalar oluşturulmuştur [16]. Bu algoritmalar redüktör tasarımı gibi mühendislik problemlerini çözümünde sıklıkla kullanılmıştır [17]. Havacılık ve imalat sanayindeki aktarma sistemlerini içeren farklı türdeki mekanik ekipmanların çalışma verimliliği ve hassasiyeti dikkate alındığında redüktör tasarımı dikkat çekmektedir [18]. Redüktörler, aktarma sistemlerindeki hızı azaltarak yüksek tork, yüksek verimlilik ve düşük gürültü sağlamaktadır. Temel prensip olarak bir redüktörün giriş miline yüksek hızda gelen dönme hareketi, piyon ve çark yardımıyla çıkış miline daha düşük hızlarda aktarılabilmektedir. Örnek bir redüktör tasarımı Şekil 1’ de gösterilmiştir [19].



Şekil 1. Örnek bir redüktör tasarımı [19].

Optimizasyon problemlerine uygulanabilecek başarılı meta-sezgisel uygulamalardan biri KKO algoritmasıdır [13]. Optimizasyon problemlerine çözüm bulmak, mühendislik problemlerinin yüksek uygulama alanları ve değişkenliği nedeniyle zorlaşmaktadır. Bunun kolaylaştırılması için bilgisayar programlarının [21] dolayısıyla MATLAB [22] gibi programlardan dillerinin hesaplama gücünden faydalanılmaktadır.

Bu makaledeki çalışma, redüktör tasarımı gibi mühendislik tasarım problemlerini karınca kolonisi optimizasyonu (KKO) kullanarak çözme fikri ile oluşturulmuştur. Karınca kolonisi algoritması, literatürde farklı tekniklerle önceden çözülen bu tür problemlerden daha iyi sonuçlar almak için değiştirilmiştir. DEKKO adı verilen bu yeni algoritma, MATLAB yazılımı ile çalıştırılmış ve sonuçlar literatürdeki diğer tekniklerle karşılaştırılmıştır. DEKKO adı verilen bu çalışmanın literatüre katkısı ve avantajlı yönleri aşağıda sıralanmıştır.

- Bu yeni algoritma, KKO 'nun avantajlı yönlerini birleştirerek elde edilmiştir.
- Önerilen algoritma, uyarlanabilir parametreler ve özel bir prosedür kullanarak karınca feromon izinden en iyi sonuç elde edilene kadar çözüm güncellenmektedir. Böylece DEKKO hassas ayarlanmış parametrelerle daha az hesaplama yapmakta ve daha kısa sürede daha iyi sonuçlara ulaşabilmektedir.
- Kullanıcılar DEKKO algoritması kullanılarak simülasyon yardımıyla redüktör tasarımı ve üretimi öncesinde kolayca bilgi edinebilmektedirler.
- Yeni algoritma ile endüstri, profesyoneller ve bu alanda çalışan kullanıcılar için maliyet ve zaman tasarrufuna katkı sağlanmaktadır.
- DEKKO algoritmasının kodu, MATLAB yazılımı kullanılarak işlevselliği test edilmiş ve literatürdeki sonuçlara göre işlevselliği açıkça paylaşılmıştır.

- Ayrıca DEKKO, diğer algoritmaların güçlü yanları ile birleştirilerek hibrit bir algoritma oluşturulması yoluyla daha iyi sonuçlar alınabilme potansiyeline sahiptir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Üretim ve havacılık endüstrisinde çeşitli zorluklarda mühendislik problemleri bulunmaktadır. Bu zorlu mühendislik problemlerinin geniş uygulama alanları nedeniyle bunların çözümleri için birçok çalışma yapılmıştır [23]. Problemlerdeki değişken sayısının artmasıyla beraber geleneksel yöntemlerle çözüm bulmak zorlaşmıştır. Çözümü basitleştirmek ve en iyi çözümü bulmak için çaba harcanmış ve bu da meta-sezgisel algoritmaların geliştirilmesine yol açmıştır. Bu türden bir meta-sezgisel algoritma olan KKO [24], günlük yaşamın farklı alanlarında birçok uygulama problemini çözmek için kullanılmıştır [25]. KKO ilk kez 1930'da analitik olarak ifade edilmiş ve 1950'den sonra sıkça kullanılmaya başlanmıştır. O zamandan beri çeşitli problemleri başarıyla çözmek için kullanılmıştır [26].

Redüktör tasarımı gibi mühendislik problemleri üzerine bir literatür taraması yapılmıştır. Yapılan araştırmada amaç fonksiyonları, kısıtlamaları ve değişkenleri dikkate alınarak bu problemlerin çeşitli optimizasyon tekniklerini kullanarak çözülmeye çalışıldığı görülmüştür. Çözümlerin geliştirilmesi için bu çalışmalar incelenmiş ve aşağıda verilmiştir.

Yay Tasarımı daha önce Ray & Saini [27], Belegundu [28], Ray & Liew [29], Grković & Bulatović [30], Coelho & Mariani [31] ve Cagnina ve ark. [32] tarafından tanımlanmıştır. Tasarım problemi, yayın ağırlığını minimuma indirirken minimum eğilme, kayma gerilmesi, salımlı frekans ve dış çap ile tasarım değişkenlerinde belirli kısıtlamalara uygun olmasını içermektedir.

Kaynaklı Kiriş daha önce Ray & Liew [29], Grković & Bulatović [30], Cagnina ve ark. [32] ve Rao [33] tarafından tanımlanmıştır. Sunulan tasarım problemleri, kirişteki eğilme gerilmesi, bükülme gerilmesi, kirişin burkulma yükü ve kirişin uç eğilimi nedeniyle minimum maliyetin belirlenmesini amaçlamaktadır.

Redüktör tasarımında yapılan bazı çalışmalar incelenmiştir. Örneğin; Li ve ark. [34], redüktör içindeki akış alanının dağılımını sayısal olarak simüle etmişlerdir. Bu simülasyonda dişli hızını belirleyen yasaları, yağlayıcının dinamik viskozitesi ve ısı iletkenlik katsayısının dişli ısı dağıtım verimliliği üzerindeki etkilerini ortaya koymuşlardır. Maccioni ve ark. [35], yaptıkları çalışmada yenilikçi bir redüktör tasarımı sunmuş ve farklı redüktör tasarımlarıyla karşılaştırılmışlardır. Ayrıca yeni tasarımın avantajları ortaya koymuşlardır. Farhat ve ark. [36], yaptıkları çalışmada çalısır ve azalı durumdaki redüktörlerin üzerinde bir modelleme yaparak bir araştırma sunmuşlardır. Burada hız, yük değişimlerinin performansın nasıl etkileyeceğini incelemişlerdir. Bunun için hızlı Fourier dönüşümü, kare zarf spektrumu, kısa Süreli Fourier dönüşümü ve kurtogram metotlarını kullanmışlardır. Tatar [37], yaptığı çalışmada robotik sistemler için içinde redüktör bulunan tahrik ünitesi tasarlamıştır. Bu işlemler için MATLAB/Simulink programı kullanılmıştır. Demir & Güner [38], MATLAB yazılımı kullanarak geometrik bir redüktör model tasarımı yapmışlardır. Sonlu elemanlar analizi yapılan modelin mukavemet değerini incelemişlerdir. Koçak ve ark. [39], yaptıkları çalışmada geleneksel bir redüktör ile yeni tasarladıkları redüktörü deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Deneyler sonucunda yeni tasarımın sabit devir ve frenleme momenti açısından geleneksel redüktöre göre daha yüksek verim sergilediğini belirtmişlerdir.

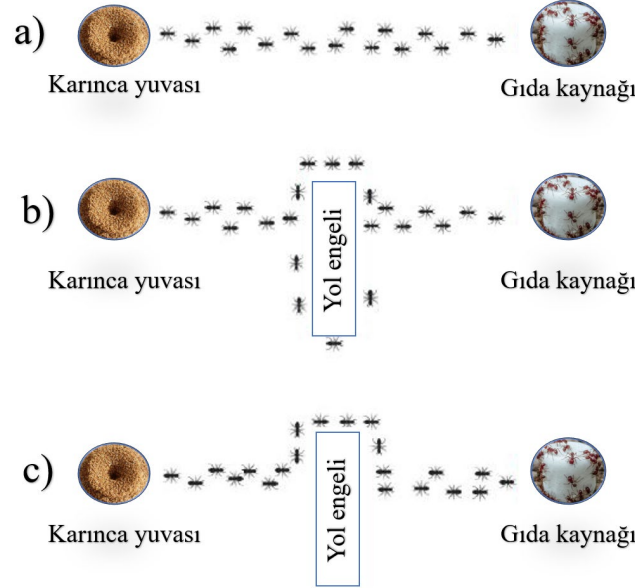
Ayrıca aynı amaç fonksiyonları, kısıtlamaları ve değişkenleri dikkate alınarak bu makaledeki redüktör tasarım problemlerin çeşitli optimizasyon teknikleri ile çözümünü sunan bazı çalışmalar incelenmiştir. Örneğin; aynı redüktör tasarımı daha önce Ray & Saini [27], Belegundu [28], Ray & Liew [29], Grković & Bulatović [30], Coelho & Mariani [31], Cagnina ve ark. [32], Saruhan & uyrur [40], Eskander ve ark. [41], Baykasoglu & Ozsoydan'ın [42], Guedria [43], Akhtar ve ark. [44], Mezura-Montes ve ark. [45], Aguirre ve ark. [46], Tomassetti [47], Akay & Karaboga [48], Gandomi ve ark. [49], Brajevic & Tuba [50], Yang & Gandomi [51], Mezura & Coello [52], Siddall [53], Golinski [54] ve Elaziz ve ark. [55] tarafından tanımlanmıştır. Ayrıca, sunulan tasarım problemleri, dişli dişlerinin bükülme gerilmesi, yüzey gerilmeleri ve millerin enine eğilmesinden kaynaklanan minimum ağırlığın bulunmasına olanak sağlamaktadır. Bunların arasında KKO optimizasyon çalışmaları yapanlar Ray & Liew [29], Grković & Bulatović [30], Coelho & Mariani [31] ve Cagnina ve ark. [32] olduğu görülmüştür.

3. KARINCA KOLONİSİNİN ALGORİTMASININ TEMELİ

Wilson ve Hölldobler [56], karıncaların feromon adı verilen sinyaller aracılığıyla iletişim kurabildiklerini keşfetmişlerdir. Feromonlar, karıncaların salgıladığı kimyasallardır ve salgılandıktan sonra izleri kısa bir süre kalmaktadır. Karıncalar, aynı yere ne kadar sık gittiklerini, o yol üzerine ne kadar çok feromon bıraktıklarını belirleyebilmektedirler. Feromon izlerinin tespit edilmesiyle, karıncaların nasıl yiyecek buldukları ve nasıl iş birliği yaptıkları açık hale gelmektedir. Karınca davranış kalıbı şu şekilde açıklanabilmektedir. Karıncalar feromon izini bulana kadar rastgele hareket etmektedir. Ardından, izdeki feromon konsantrasyonuna bağlı olarak karıncalar, izi takip edip etmeyeceklerine karar vermektedirler. Dolayısıyla, bir izi takip eden karınca sayısı ne kadar çoksa, diğer karıncaların izi takip etme olasılığı da o kadar yüksek olmaktadır [21].

Karıncalar gıda kaynaklarından yuvalarına en kısa yolu görme duyusunu kullanmadan bulma becerilerinin yanı sıra, adaptasyon yeteneklerine sahiptirler. Eğer takip ettikleri mevcut yol dış etkenler nedeniyle artık en kısa yol değilse, yeni en kısa yolu bulabilmektedirler. Başlangıçta, karıncalar düz bir çizgiyi takip etmekte ve aynı anda feromonları yolu bırakarak takip eden karıncalara yardımcı olmaktadır.

Şekil 2' de, doğal olarak salgıladıkları feromonların yardımıyla karıncaların hareketleri ve izledikleri yol gösterilmiştir. Karıncaların yolları engellendiğinde feromon izlerini takip edememekte ve genellikle takip edebilecekleri iki yoldan birini seçmektedirler. Karıncaların kısa yola geçiş yapma sayısı daha fazla olacağından, bırakılan feromon miktarı da daha fazla olmaktadır. Dolayısıyla, zamanla daha fazla karınca kısa yolu tercih eder hale gelmektedir. İzleri kontrol ederek, önceden rastgele hareket eden karıncalar, muhtemel olarak daha yoğun bir feromon izinin yönünü almayı tercih etmektedirler [57].



Şekil 2. Gerçek karınca davranışları; (a) Karıncalar yuva ve gıda kaynağı arasında bir yol izlemektedir, (b) Yolda bir engel belirlediğinde karıncalar, eşit olasılıkla sola veya sağa dönme seçeneğine sahiptirler, (c) Karıncalar kısa yola daha yüksek miktarda feromon bırakmakta ve çoğunluğunun kısa yolu seçmesine olanak sağlamaktadırlar.

Bu keşif karıncaların bir yiyecek kaynağı bulduklarında nasıl ulaştıklarını ve engelleri nasıl aştıklarını anlamaya yardımcı olmaktadır. Feromonlar, karıncalar arasında iletişim kurmanın bir aracı olarak işlev görmektedir. Bu davranışlar incelenerek bilim adamları bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma, karınca kolonilerinden ilham alınarak geliştirildiği için karınca kolonisi optimizasyon algoritması (KKO) olarak adlandırılmıştır. Klasik KKO temel olarak gerçek karıncalardan esinlenen yapay karıncalar kullanılarak formüle edilmiştir. Bu algorithma da karıncalar feromon adı verilen izleri kenarlara bırakarak iletişim kurabilmektedirler. Bu algoritma ilk olarak Dorigo ve ark. [58] tarafından bir referans makalesinde incelenmiştir. Klasik KKO, sürü zekâsından ortaya çıkan davranışlar aracılığıyla optimizasyon problemlerini çözmeyi amaçlayan bir ajan popülasyonuna dayalı meta sezgisel bir yöntemdir. KKO algoritmasının tek yapay kontrol mimarisi bazı birimler için aynı ve ölçeklenebilir özelliklere sahiptir.

4. METODOLOJİ

Yapay koloni karıncaları tarafından bırakılan feromon izleri şeklinde biriken bilgilerden faydalanılarak, ardışık olarak daha kısa turlar oluşturulması mümkün olmaktadır. Bu sayede belirtilen iterasyonun sonunda belirlenen en iyi sonuçlar kaydedilmekte ve problem çözümüne ulaşılmaktadır.

Algoritmanın çalışma sürecinde, karıncalar tarafından güncellenen feromon izleri aracılığıyla iyi bir çözüm bulmak için bir veri seti oluşturulmuş ve bu veri seti her iterasyonda güncellenmiştir. Karıncaların sayısını artırmak çözümün iyileştirilmesine yardımcı olabilmektedir. Ancak işlem sayısını arttırdığı için, karıncaların sayısını çok fazla arttırmak işlem süresini uzatmaktadır. Problem boyutuna göre karmaşık bir hal alabilen KKO algoritmasının hızını artırmak için alfa ve beta gibi bazı parametrelerin güncellenmesi yoluyla başarılı bir şekilde test edilen çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [59]. Programlama dilleri kullanılarak yapılan bilgisayar simülasyonları, KKO problemlerin iyi çözümler bulunduğunu göstermektedir [60].

Bu çalışmada, daha etkili ve güvenilir bir çözüme ulaşma hedefiyle bir KKO algoritması geliştirilmiştir. Bu hedef doğrultusunda, temel KKO yönteminin kodu değiştirilerek DEKKO adı verilen bir algoritma oluşturulmuştur. Bu DEKKO algoritmasının kodu, MATLAB yazılımı kullanılarak işlevselliği test edilmiş ve literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

4.1. Karınca Koloni Algoritması

Bu algoritma, optimizasyon sürecinde yapılan feromon güncellemesine ek olarak, yerel bir feromon güncellemesi başlatmaktadır. Bu güncelleme aynı zamanda çevrimdışı feromon güncellemesi olarak da adlandırılır. Her

iterasyonun ardından tüm karıncalar yerel feromon güncellemesi yapar ve her bir karınca yalnızca kapsanan son kenara uygular. Yerel feromon güncellenmesi τ_{ij} , Denklem 1' de gösterilmiştir

$$\tau_{ij} = \tau_{ij} \cdot (1 - Q) + \tau_0 \cdot Q \quad (1)$$

Burada, Q buharlaşma katsayısıdır ve miktarı $0 \leq Q \leq 1$ olarak tanımlanır. τ_0 , feromonun başlangıç değeridir. Yerel feromon güncellemesinin ana amacı, her iterasyondan sonra karıncalar tarafından gerçekleştirilen aramanın çeşitliliğini sağlamaktır. Kapsanan kenarlardaki feromon konsantrasyonunu azaltarak, sonraki karıncaların başka bir kenarı seçmeleri teşvik edilmekte ve dolayısıyla farklı bir çözüm üretilmektedirler. İterasyon sırasında, birkaç karıncanın aynı çözümü üretme olasılığı düşer. Yerel feromon güncellemesi, maksimum ve minimum karınca sistemi ile aynı prensipte çalışmaktadır. Denklem 2' deki gibi her iterasyonun sonunda en iyi güncelleme göz önüne alınmaktadır.

$$\tau_{ij} = \begin{cases} \tau_{ij} \cdot (1 - q) + \Delta \tau_{ij} \cdot q, & \text{eğer } (i, j) \text{ en iyi tura aitse} \\ \tau_{ij}, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (2)$$

Karıncalar sistemi ve karınca kolonisi sistemleri arasındaki önemli bir fark, karıncaların çözüm sürecinde kullandıkları karar kuralında görülmektedir. KKO' da aşağıdaki kural kullanılmaktadır.

Bir karıncanın i şehriden j şehrine taşınma olasılığı, $0 \leq q \leq 1$ aralığında bir rasgele değişkene bağlıdır. Eğer bu değer yeni oran q_0 'a eşit veya küçükse, $j = \text{argmax}_{C_{ij} \in N(S^P)} \{\tau_{ij} \eta_{ij}^\beta\}$, işlemi uygulanmaktadır. Aksi halde, aşağıdaki Denklem 3 kullanılır.

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{C_{ij} \in N(S^P)} \tau_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}, & \text{eğer } C_{ij} \in N(S^P) \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (3)$$

4.2. Değiştirilmiş Karınca Koloni Optimizasyonu (DEKKO)

Önerdiğimiz algoritma, Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) algoritmasının bir modifikasyonudur. Bu değişiklik, algoritmanın uyum kabiliyetini artırmayı ve çözüm kalitesini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Bu yeni algoritmanın ana noktaları ve nasıl çalıştığı aşağıda gösterilmiştir.

Uyarlanabilir α ve β Değerleri: Algoritmanın her iterasyonunda, feromonun (α) ve meta-sezgisel bilginin (β) önemi dinamik olarak ayarlanmaktadır. Bu, çözüm arama sürecini daha esnek hale getirmekte ve yerel sıkışmayı önlemeye yardımcı olabilmektedir.

Feromon Güncellemesi: Her iterasyonda, tüm feromon izleri (τ) güncellenmektedir. Yeni feromon değeri, o iterasyondaki en iyi çözümün mevcut feromon değeri ve işlev değerine dayanarak artırılmaktadır. Böylelikle daha iyi çözümlere daha fazla ağırlık verilmektedir.

Kraliçe Karınca (queen. Value): En iyi çözüm "kraliçe karınca" olarak saklanmakta ve bu çözümün değeri diğer karıncaların gelecekteki arama yönlerini etkilemektedir.

Durum Kontrolü ve Çıktı: Algoritma, her iterasyonda en iyi çözümü kontrol etmekte ve eğer bu çözüm önceki en iyi çözümden daha iyiyse, yeni en iyi çözüm olarak kabul edilmektedir.

Bu önerilen modifikasyonları mevcut karınca optimizasyonuna entegre etmek için, belirtilen değişiklikleri yansıtan fonksiyonları güncellemek ve algoritmanın temel yapısını korumak gereklidir. Bu durum, hem feromon güncelleme mekanizmasını hem de α ve β 'nin uyarlanabilir ayarlarını içerecektir. Ayrıca, ihtiyaç duyulduğunda en iyi çözümü ("kraliçe karınca") saklamak ve güncellemek gerekecektir.

Bu yaklaşım, redüktör tasarımı gibi çeşitli mühendislik tasarım problemlerinin karmaşık optimizasyon çalışmasında etkili olabilmektedir. Parametre tanımları Tablo 1'de verilmiştir.

Değiştirilmiş karınca kolonisi algoritmasında, yalnızca en iyi karınca feromon izinden elde edilen çözüm güncellenmekte ve belirlenen modifikasyonlarla DEKKO algoritması elde edilmektedir. İlk aşamada, m sayıda karınca parametre olarak belirlenmelidir. İlk çözümün kalitesi ve ikinci döngüde değişim sayısını temsil eden I iterasyon numarası bu parametreye dayanmaktadır.

Tablo 1. DEKKO parametre tanımlamaları

Tanımlama	
max iterations	Algoritmadaki maksimum iterasyon sayısı
ant population	Karıncalar popülasyon sayısı
evaporation rate (ρ)	Feromon buharlaşma oranı
alpha (α)	Karıncanın karar verme sürecinde feromonun önemini kontrol eden parametre
beta (β)	Karıncanın karar verme sürecinde mesafenin önemini kontrol eden parametre
queen. Value	En iyi çözüm bulunduğunda "kraliçe karınca" olarak saklanmaktadır

İlk döngüde, tüm karıncalar rastgele bir konum seçmekte ve her bir değişken için bir değer almaktadır. Her bir karınca konumunu bulduğunda, karıncalar tarafından seçilen değişken değerleri için optimize edilmiş \min_{val} değerleri aracılığıyla fonksiyonun değeri belirlenir. Her bir karınca için fonksiyon değerleri elde edildiğinde, hangi karıncanın en iyi çözümü seçtiği değerlendirilmekte ve bu çözümün değeri $\min_{function}$ olarak kaydedilmektedir. İkinci döngüde, tüm karıncalar ilk aşama $\min_{function}$ 'dan en iyi çözüm yerelini elde etmektedir. En iyi değer için feromon güncellemesi Denklem 4' te gösterildiği şekilde yapılır.

$$\tau(i) = 0.1 (1 - \eta_{ij}). \tau(i) \quad (4)$$

Her iterasyonun çözümünü düzeltmek için α_j ve β_j değerleri verilmektedir.. İlk iterasyonda, bu değer bir kodda verilir ve bu değer, değişkenlerin olası çözüm aralıklarının alt ve üst sınırlarına bağlı olarak seçilmektedir. Ayrıca, her takip eden iterasyon için α ve β 'nin düzeltme değerleri Denklem 5' te olduğu gibi yapılmaktadır.

$$\alpha_j = 0,05 . \alpha_i ; \quad \beta_j = 0,05 . \beta_i \quad (5)$$

İkinci adımda açıklanan bu prosedür, ikinci döngüde bir iterasyon tekrarıdır ve maksimum iterasyon sayısına kadar çözümleri düzeltmek için tekrarlamak üzere programlanmıştır. İsteğe bağlı olarak, en iyi değer kodda tanımlanabilmektedir. Bir değer tanımlanmışsa ve belirli bir iterasyon sayısından sonra gereksinimden daha iyi bir çözüm elde edilemezse, tüm döngü tekrarlanabilmektedir. En iyi çözüm değerleri elde edildikten sonra, bu değerler kaydedilmekte ve işlev değerleri tanımlanmaktadır. DEKKO algoritmasının basit bir optimizasyon sözde kodu Şekil 3' te verilmiştir.

DEKKO Algoritması
<pre> for t = 1 : maxiteration MACO= createMaco (graph, colony , antnumber, tau, eta, alpha, beta); function [graph] = createGraph() Update alpha and beta; alpha_j = 0,05 . alpha_i ; beta_j = 0,05 . beta_i Determine optimum value and best function value for i = 1 : antnumber tau(j) = tau(i) + 0,005 . minfunction if minfunction < bestfunction; function = new function; end queen.value= bestvalue; to update tau ; tau = 0.1*(1 - rho) .* tau; output = ['MACO (Modified ACO) #', 'Iteration #', value1 , ' optimum Function value = ', value2]; disp(output) </pre>

Şekil 3. DEKKO sözde kodu.

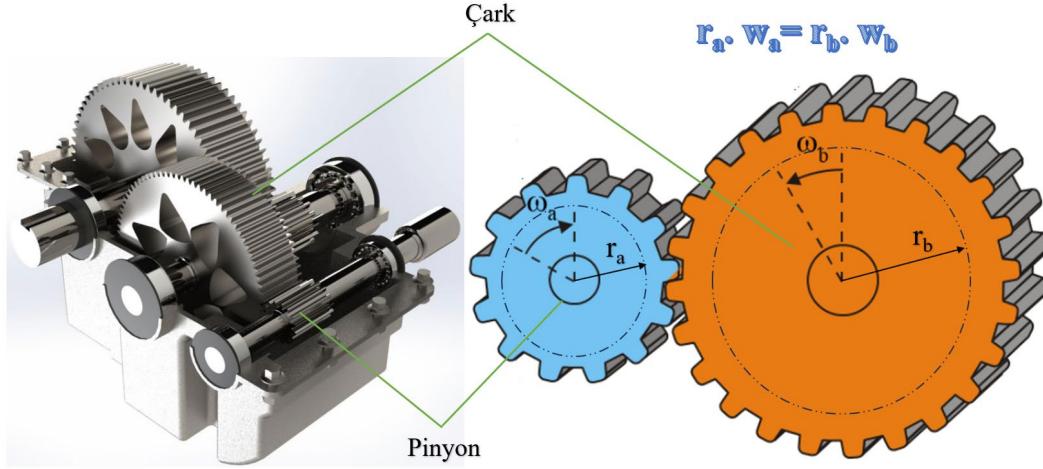
5. BUGULAR VE TARTIŞMA

Literatürde bulunan redüktör tasarımı uygulamalarında uygulanan KKO çözümleri incelenmiştir. Buradaki tasarımlar birebir olarak DEKKO algoritması kullanılarak yürütülmüş ve sonuçlar karşılaştırma amacıyla okuyucuya sunulmuştur.

5.1. Redüktör Tasarımı

Bir dönme hareketini dişliler yardımı ile değiştiren ve aktaran makine elemanlarına redüktör denmektedir. İngilizcedeki “Reduce” kelimesinden gelmektedir. Temel olarak Şekil 4' te gösterilen redüktörler ana gövde, dişli, rulmanlar, giriş milleri ve çıkış millerinden oluşmaktadır. Redüktör bir motor ile bir makine parçası arasına yerleştirilmekte ve motorun sağladığı hızı azaltarak sisteme aktarılmasını sağlamaktadır. Bir redüktör dönen ve döndüren olmak üzere en az iki dişliden meydana gelmektedir. Bu iki dişliden küçük olanına pinyon, büyük olanına çark adı verilmektedir. Bunlar yardımıyla hız düşerken diğer taraftan sistemin torqu artmaktadır. Böylelikle prosesin daha iyi, daha hassas şekilde kontrol edilmesi ve daha iyi sonuçlar elde edilmesine olanak sağlanmaktadır [61]. Redüktör bloklarına göre Monoblok redüktör ve yatık tip redüktör olmak üzere temelde ikiye ayrılabilir. Monoblok redüktör bloklarında yataklar, bir kapak veya gövde parçasına bağlı değil ve doğrudan gövde üzerinde konumlanmaktadır. Yatık redüktör blokları, ağır iş koşullarında kullanılmak üzere özel olarak tasarlanmış redüktörlerdir. Bu tip redüktörlerde, redüktör ile tahrik mekanizması arasında farklı bağlantı şekilleri bulunabilmektedir. Gövdeleri ve kapakları yüksek kaliteli çelik dökümden üretilirken, dişliler sementasyon çeliklerinden imal edilmekte ve yüzeyleri modern üretim yöntemleriyle sertleştirilerek

taşlanmaktadır. Her iki dişli çarkın yuvarlanma daireleri üzerindeki çevre hızlarının eşit olduğu bilinmektedir. Buradan hareketle pinyon yuvarlanma dairesi çapı ve açısal hızlarının çarpımının çark yuvarlanma dairesi çapı ve açısal hızlarının çarpımına eşit olduğu sonucu çıkmaktadır. Geleneksel bir redüktör çalışma prensibini Şekil 4’ te gösterilmiştir [62]. Burada; pinyon yuvarlanma dairesi çapı r_a , pinyon açısal hızı w_a , çark yuvarlanma dairesi çapı r_b ve çark açısal hızı w_b olarak gösterilmiştir.

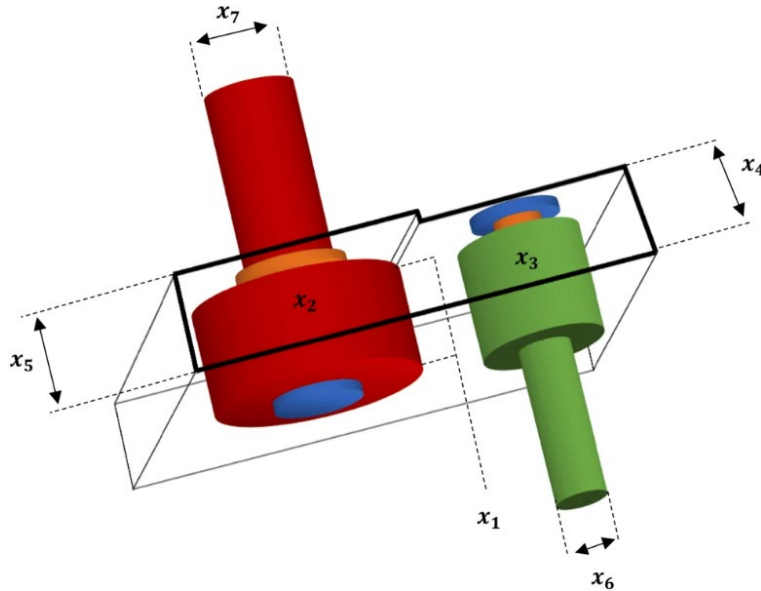


Şekil 4. Geleneksel bir redüktörün çalışma prensibi [62].

Redüktörlerin tercih edilme sebepleri arasında güç aktarımının yanı sıra farklı dönme yönleri elde edilmesi, küçük bir hacimden büyük bir çevrim oranı sağlanması, az bakım maliyetine sahip olması ve bakımları doğru yapıldığında kullanım ömürleri olması gösterilebilmektedir.

5.2. Probleminin Tanımlanması

Redüktörlerde dişler üzerindeki eğilme gerilimi, yüzey gerilmeleri, enine sapmalar ve mildeki gerilmelerden dolayı oluşan birtakım kısıtlamalar bulunmaktadır. Bunlar dikkate alınarak DEKKO algoritması ile minimum ağırlıkta bir redüktör tasarımına ulaşılması amaçlanmıştır. Yanak genişliği b (x_1), diş modülü m (x_2), pinyonun diş sayısı z (x_3), ilk mil ile rulmanlar arasındaki uzunluk l_1 (x_4), ikinci mil ile rulmanlar arasındaki uzunluk l_2 (x_5), birinci mil çapı d_1 (x_6) ve ikinci mil çapı d_2 (x_7) olarak tasarlanmıştır [27-32, 40-55]. Redüktör tasarımı Şekil 5’ te gösterilmiştir [55].



Şekil 5. Problem çözümünde kullanılan redüktör yapısı [55].

Literatürde yukarıda tasarım ve parametreleri verilen redüktörün minimum ağırlık problemlerinin çözümü için amaç fonksiyonu, kısıtlama fonksiyonları ve tasarım değişkenleri tanımlanmıştır. Bu redüktör problemi, dişli dişlerinin bükülme gerilimi, yüzey gerilimi, millerin enine sapmaları ve millerdeki gerilmeler üzerindeki kısıtlamalar ile ifade edilmektedir. Bunlar ayrı ayrı aşağıdaki denklemlerde ifade edilmiştir [27-32, 40-55]. Redüktörün Amaç fonksiyonu Denklem 6’ de gösterilmiştir.

$$f(x) = (0,7854 x_1 x_2^2 (3,3333 x_3^2 + 14,933 x_3 - 43,0934) - 1,508 x_1 (x_6^2 + x_7^2) + 7,4777 x_1 (x_6^3 + x_7^3) + 0,7854 (x_4 x_6^2 + x_5 x_7^2)) \quad (6)$$

Kısıtlama fonksiyonları ve tasarım değişkenleri Denklem 7-24 arasında gösterilmiştir.

$$g_1(x) = 27 / (x_1 x_2^2 x_3) - 1 \leq 0 \quad (7)$$

$$g_2(x) = (397,5 / (x_1 x_2^2 x_3^2)) - 1 \leq 0 \quad (8)$$

$$g_3(x) = (1,93 x_4^3 / (x_2 x_6^4 x_3)) - 1 \leq 0 \quad (9)$$

$$g_4(x) = (1,93 x_5^3 / (x_2 x_7^4 x_3)) - 1 \leq 0 \quad (10)$$

$$g_5(x) = \left(\frac{1}{110x_6^3} \right) \sqrt{(745,0 x_4 / x_2 x_3)^2 + 16,9 10^6} - 1 \leq 0 \quad (11)$$

$$g_6(x) = \left(\frac{1}{85x_7^3} \right) \sqrt{(745,0 x_5 / x_2 x_3)^2 + 157,5 10^6} - 1 \leq 0 \quad (12)$$

$$g_7(x) = (x_2 x_3 / 40) - 1 \leq 0 \quad (13)$$

$$g_8(x) = (5x_2 / x_1) - 1 \leq 0 \quad (14)$$

$$g_9(x) = (x_1 / 12x_2) - 1 \leq 0 \quad (15)$$

$$g_{10}(x) = (1,5x_6 + 1,9) / x_4 - 1 \leq 0 \quad (16)$$

$$g_{11}(x) = (1,1x_7 + 1,9) / x_5 - 1 \leq 0 \quad (17)$$

$$2,6 \leq x_1 \leq 3,6 \quad (18)$$

$$0,7 \leq x_2 \leq 0,8 \quad (19)$$

$$17,0 \leq x_3 \leq 28,0 \quad (20)$$

$$7,3 \leq x_4 \leq 8,3 \quad (21)$$

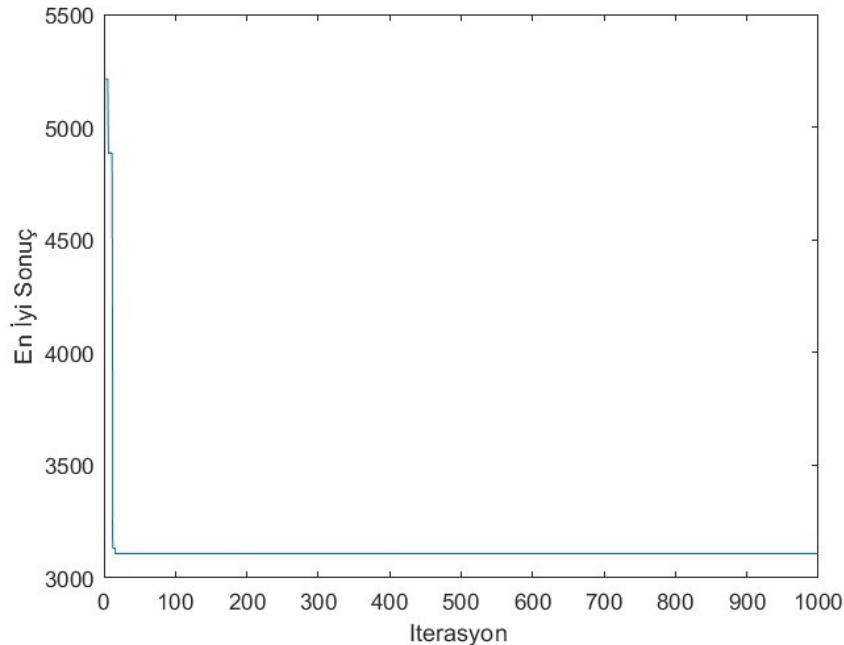
$$7,8 \leq x_5 \leq 8,3 \quad (22)$$

$$2,9 \leq x_6 \leq 3,9 \quad (23)$$

$$5,0 \leq x_7 \leq 5,5 \quad (24)$$

5.3. Redüktör Tasarımı için DEKKO Algoritma Simülasyonu

Algoritma hedef ve kısıt fonksiyonları göz önünde bulundurularak en iyi sonuca ulaşmak için 20 kez çalıştırılmıştır. En iyi sonuç, 14 iterasyon, 100 karınca ve 66,81 saniye süreyle elde edilmiştir. İterasyon-en iyi sonuç grafiği Şekil 6 ve MATLAB sonuç ekranı Şekil 7' de gösterilmiştir. Ayrıca, DEKKO için elde edilen en iyi sonuç, literatürde aynı problem için elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuç özetleri Tablo 2' de verilmiştir.



Şekil 6. İterasyon-en iyi sonuç grafiği.

```

1 function engineeringproblem_modified
2 % Parametreler
3 numAnts = 100;
4 numVariables = 7;
5 maxIter = 1000;
6 evaporationRate = 0.2;
7 alpha = 0.5; % Başlangıç Alpha değeri
8 beta = 0.5; % Başlangıç Beta değeri
9 maxPheromoneIndex = 500;
10
11 % Değişkenler için sınırlar
12 lb = [2.6 0.7 17 7.3 7.8 2.9 5.0];
13 ub = [3.6 0.8 28 8.3 8.3 3.9 5.5];
14
15
16 % Optimizasyon
17 [bestSol, bestCost, bestIter, elapsedTime] = modifiedACO(numAnts, numVariab.
18
19 % Sonuçları Göster
20 fprintf('En İyi Çözüm: %s\n', mat2str(bestSol));
21 fprintf('En İyi Sonuç: %.4f\n', bestCost);
22 fprintf('Bulunan İterasyon: %d\n', bestIter);
23 fprintf('Geçen Süre: %.2f saniye\n', elapsedTime);
24 fprintf('Karıncaya Sayısı: %d\n', numAnts);
25

```

```

Command Window
Karıncaya Sayısı: 100
>> engineeringproblem_modified
En İyi Çözüm: [3.53386773547094 0.705410821643287 17 8.27394789579158 8.05350701402806 3.
En İyi Sonuç: 3105.8779
Bulunan İterasyon: 14
Geçen Süre: 66.81 saniye
Karıncaya Sayısı: 100
fx >>

```

Şekil 7. Redüktör tasarımı için MATLAB sonuç ekranı.

Tablo 2. Redüktör problem çözümlerinin karşılaştırılması

Definition	Eskandar ve ark. (WCA)	Baykasoglu & Ozsoydan (FA)	Guedria (IAPSO)	Grković & Bulatović (MACA)	Önerilen Metot (DEKKO)
x_1	3,500000000	3,507495	3,501313	3,499999999470	3,533867735
x_2	0,700000000	0,7001	0,700000	0,699999999999	0,705410821
x_3	17,000000000	17,00000	18,00000	17,000000000000	17,0000000
x_4	7,300000000	7,719674	8,127814	8,051780184365	8,27394789
x_5	7,715319000	8,080854	8,042121	8,084677071037	8,053507014
x_6	3,350214000	3,351512	3,352446	3,351689274675	3,39268997
x_7	5,286654000	5,287051	5,287076	5,286782111706	5,35698359
Best f(x)	2994,4710660	3010,137492	3187,630486	3009,669238634	3105,8779
İterasyon	-	-	-	-	-
Karıncaya Sayısı	-	-	-	10000	100

Ayrıca, DEKKO için elde edilen en iyi sonuç literatürde aynı problem için elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Eskandar ve ark. su döngüsü algoritması (WCA), Baykasoglu & Ozsoydan'ın ateşböceği algoritması (FA), Guedria geliştirilmiş bir hızlandırılmış parçacık sürüsü optimizasyon algoritması (IAPSO) ve Grković & Bulatović ise değiştirilmiş bir karınca kolonisi algoritması (MACA) kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. DEKKO algoritması uygulandığında, en iyi çözümün 3105,8779 olduğu bulunmuştur.

DEKKO algoritması sonucu, Eskander ve ark.'nın [41] çalışmasına göre (WCA) %3,58 daha fazla bulunmuştur. DEKKO 14 iterasyonla çözüme ulaşırken, WCA çalışmasında iterasyon bilgisi verilmemiştir.

DEKKO algoritması sonucu, Baykasoglu & Ozsoydan'ın [42] çalışmasına göre (FA) % 3,082 daha fazla bulunmuştur. DEKKO 14 iterasyonla çözüme ulaşırken, FA' da en iyi sonuçlar ortalama 3000 iterasyon-değerlendirme ile çözüme ulaşmıştır.

DEKKO algoritması sonucu, Guedria'nın [43] çalışmasına göre (IAPSO) % 2,63 daha düşük bulunmuştur. DEKKO 14 iterasyonla çözüme ulaşırken, IAPSO 6000 iterasyon-değerlendirme ile çözüme ulaşmıştır.

DEKKO algoritması sonucu, Grković & Bulatović'in [30] çalışmasına göre (MACA) %3,09 daha fazla bulunmuştur. DEKKO 100 karınca ile çözüme ulaşırken, MACA 10000 karınca ile çözüme ulaşmıştır.

Bundan dolayı, DEKKO' nun literatürdeki sonuçlar arasında başarı elde ettiği açıktır. Dolayısıyla, DEKKO' nun redüktör tasarımlarında güvenilir bir şekilde kullanılabilirliği açıktır.

6. SONUÇ

Son yıllarda çözülen problemin özelliklerine ve karmaşıklığına bağlı olarak meta-sezgisel algoritmaların nispeten daha iyi yönleri bir araya getirilerek karma ve iyileştirilmiş algoritmalar oluşturulmuştur. Bu algoritmalar redüktör

tasarımı gibi mühendislik problemlerini çözümünde sıklıkla kullanılmıştır. Havacılık ve imalat sanayindeki aktarma sistemlerini içeren farklı türdeki mekanik ekipmanların çalışma verimliliği ve hassasiyeti dikkate alındığında redüktör tasarımı dikkat çekmektedir.

Bu makale amaç fonksiyonları, kısıt fonksiyonları ve tasarım değişkenleri belirli olan redüktör probleminin değiştirilmiş bir karınca kolonisi optimizasyon algoritması (DEKKO) ile çözümüne odaklanmıştır. Literatürde farklı teknikler kullanılarak redüktör probleminin çözümlerinden daha iyi sonuçlar elde etmek amacıyla karınca koloni (KKO) algoritmasının değiştirilme yolun gidilmiştir. Bu yeni algoritma KKO' nun avantajlı yönlerini birleştirerek geliştirilmiş ve DEKKO adı verilmiştir. DEKKO kodu MATLAB yazılımı kullanılarak çalıştırılmıştır.

En iyi sonucu elde etmek için program 20 kez çalıştırılmıştır. En iyi sonuca 14 iterasyon, 100 karınca ve 66,81 saniyede ulaşılmıştır. Burada en iyi çözüm 3105,8779 vektör birim olduğu bulunmuştur. Ayrıca, DEKKO için elde edilen en iyi sonuç literatürde aynı problem için elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Eskandar ve ark. su döngüsü algoritması (WCA), Baykasoglu & Ozsoydan atesböceği algoritması (FA), Guedria geliştirilmiş bir hızlandırılmış parçacık sürüsü optimizasyon algoritması (IAPSO) ve Grković & Bulatović ise değiştirilmiş bir karınca kolonisi algoritması (MACA) kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. DEKKO algoritması sonucu, WCA' ya göre % 3,58 daha fazla bulunmuştur. DEKKO 14 iterasyonla çözüme ulaşırken, WCA çalışmasında iterasyon bilgisi verilmemiştir. DEKKO algoritması sonucu, FA' ya göre % 3,082 daha fazla bulunmuştur. DEKKO 14 iterasyonla çözüme ulaşırken, FA en iyi sonuçları ortalama 3000 iterasyon-değerlendirme ile çözüme ulaşmıştır. DEKKO algoritması sonucu, IAPSO' ya göre %2,63 daha düşük bulunmuştur. DEKKO 14 iterasyonla çözüme ulaşırken, IAPSO 6000 iterasyon-değerlendirme ile çözüme ulaşmıştır. DEKKO algoritması sonucu MACA' ya göre %3,09 daha fazla bulunmuştur. DEKKO 100 karınca ile çözüme ulaşırken, MACA 10000 karınca ile çözüme ulaşmıştır.

Bu durum, DEKKO' nun literatürdeki sonuçlar arasında başarı elde ettiğini açıkça göstermektedir. Dolayısıyla, DEKKO' nun redüktör tasarım çözümlerinde güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi açıktır. Kullanıcılar, DEKKO algoritmasını kullanarak redüktör tasarımı ve ön üretim hakkında kolayca bilgi edinebileceklerdir. Böylece endüstri, profesyoneller ve bu alanda çalışan kullanıcılar için maliyet ve zaman tasarrufuna katkıda bulunulması amaçlanmıştır. Gelecekte DEKKO algoritmasının daha da optimum sonuçlar vereceği inancıyla, algoritmanın daha fazla araştırılması ve geliştirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca, geliştirilen DEKKO algoritması diğer mühendislik çalışmalarında test edilebilir ve sonuçları literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılarak okuyuculara sunulabilir.

Yazar Katkıları

Kürşat Tanrıver- Kavramsal tasarım, Metodoloji, Veri düzenleme, Yazı- orijinal taslak.

Mustafa Ay- Görselleştirme, Metodoloji, Araştırma, Doğrulama, Denetim, Yazı- inceleme ve düzenleme.

Çıkar Çatışması

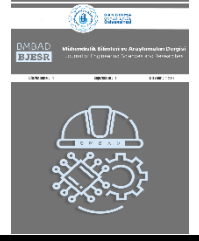
Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKÇA

- [1] Ö. Akçay, "Structural Optimization of the Brake Pedal using Artificial Intelligence," International Journal of Automotive Science and Technology, vol. 7, no. 3, pp. 187–195, Sep. 2023.
- [2] K. Tanrıver, M. Ay, "Experimental, software and topological optimization study of unpredictable forces in bolted connections," Tehnicki Vjesnik-technical Gazette, vol. 30, no. 4, Aug. 2023.
- [3] W. Zhao, Y. Liu, Y. Li, C. Hu, and S. Rui, "Multi-robot coverage path planning for dimensional inspection of large free-form surfaces based on hierarchical optimization," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 127, no. 11–12, pp. 5471–5486, Jul. 2023.
- [4] C. Baştemur Kaya, E. Kaya, "Yüksek Boyutlu Nümerik Optimizasyon Problemlerinin Çözümünde Kelebek Optimizasyon Algoritmasının Performansının Değerlendirilmesi," Müh.Bil.ve Araş.Dergisi, 4:296–30, 2022.
- [5] A.M. Ebid, M.Y. Abdel-Kader, I.M. Mahdi, I.Abdel-Rasheed, "Ant Colony Optimization based algorithm to determine the optimum route for overhead power transmission lines," Ain Shams Engineering Journal, vol. 15, no 1,2024,102344.
- [6] V.K. Harikrishnan, A.I. Sivakumar, S. Sampath, and S. Paramasivam, "A Time-Performance Improvement Model with Optimal Ergonomic Risk Level Using Genetic Algorithm," Transactions of FAMENA, vol. 47, no. 4, pp. 109–128, Jan. 2023.
- [7] İ. Avcı and M.N. Yıldırım, "Solving Weapon-Target Assignment Problem with Salp Swarm Algorithm," Tehnicki Vjesnik-technical Gazette, vol. 30, no. 1, Feb. 2023.
- [8] S. Katiyar and A. Dutta, "Comparative analysis on path planning of ATR using RRT*, PSO, and modified APF in CG-Space," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, vol. 236, no. 10, pp. 5663–5677, Jan. 2022.
- [9] E.S. Eşsiz, V.N. Kiliç, and M. Oturakçi, "Firefly-Based feature selection algorithm method for air pollution analysis for Zonguldak region in



- Turkey,” Turkish Journal of Engineering, vol. 7, no. 1, pp. 17–24, Jan. 2023.
- [10] B. Irmak and Ş. Gülcü, “Training of the feed-forward artificial neural networks using butterfly optimization algorithm,” MANAS Journal of Engineering, vol. 9, no. 2, pp. 160–168, Dec. 2021.
- [11] M.C. Cihan, M.B. Çetinkaya, ve H. Duran “Performance comparison of artificial bee colony algorithm based approaches for retinal vessel segmentation”, BAUN Fen. Bil. Enst. Dergisi, vol. 23, no. 2, pp. 792–807, 2021.
- [12] J.D. Farmer, N.H. Packard, and A. S. Perelson, “The immune system, adaptation, and machine learning,” Physica D: Nonlinear Phenomena, vol. 22, no. 1-3, pp. 187-204, 1986.
- [13] E.K. Yaylacı, A.E. Yılmaz, H.N. Özdeş, “Kızıl Tilki Optimizasyon Algoritması ile Da-Da Alçaltıcı Tip Dönüştürücü Kontrolör Katsayılarının Optimizasyonu,” Müh.Bil.ve Araş.Dergisi, vol. 4, no. 2, pp. 129–140, 2022.
- [14] A. Tuncer, “Otonom mobil robotların Voronoi diyagramı ve karınca kolonisi optimizasyonuna dayalı yol planlaması,” Journal of Innovative Engineering and Natural Science, Dec. 2023.
- [15] D. Zhang, R. Luo, Y.-B. Yin, and S. Zou, “Multi-objective path planning for mobile robot in nuclear accident environment based on improved ant colony optimization with modified A*,” Nuclear Engineering and Technology, vol. 55, no. 5, pp. 1838–1854, May 2023.
- [16] L. Sun, Y.S. Chen, W. Ding, and J. Xu, “LEFSA: label enhancement-based feature selection with adaptive neighborhood via ant colony optimization for multilabel learning,” International Journal of Machine Learning and Cybernetics, Aug. 2023.
- [17] A. Durmuş, Z. Yıldırım, “Synthesis of Linear Antenna Arrays with Physics Based AOA, CryStAl and LA Algorithms.” Müh.Bil.ve Araş.Dergisi, vol. 4, no. 2, pp. 164–172, 2022.
- [18] S. Wu, R.Guo, X. Li, "Quasi-Static Force Analysis and Tooth Profile Modification Optimization of the Cycloid Speed Reducer," Applied Sciences, vol. 14, no. 2, p. 845, 2024.
- [19] A. Lanzotti, M. Calise, M. Molaro, S. Patalano, F.Renno, ark. ‘Federica’s MOOC’ (Massive Open Online Course): a blended course in engineering drawing at Federico II,” Int J Interact Des Manuf vol. 13, pp. 1115–1128, 2019.
- [20] X. Zhou, W. Gui, A.A. Heidari, Z. Cai, G. Liang, and H. Chen, “Random following ant colony optimization: Continuous and binary variants for global optimization and feature selection,” Applied Soft Computing, vol. 144, p. 110513, Sep. 2023.
- [21] Ö. HiZaroğlu, “Diz Eklemleri Simülasyon Prototipinin ISO 14243/3 Standardına Uygun Sistem Modelleme Çalışmasının Yapılması ve Matlab Simulink Ortamında Yürüyüş Profilinin Simule Edilmesi,” Jan. 01, 2024.
- [22] A. Hashemi, M. Joodaki, N.Z. Joodaki, and M. B. Dowlatshahi, “Ant colony optimization equipped with an ensemble of heuristics through multi-criteria decision making: A case study in ensemble feature selection,” Applied Soft Computing, vol. 124, p. 109046, Jul. 2022.
- [23] V. Maniezzo, L.M. Gambardella, and F. De Luigi, “Ant Colony Optimization,” in Studies in fuzziness and soft computing, pp. 101–121, 2004.
- [24] X. Zheng, Z. Wang, D. Liu, and H. Wang, “A path planning algorithm for PCB surface quality automatic inspection,” Journal of Intelligent Manufacturing, vol. 33, no. 6, pp. 1829–1841, Apr. 2021.
- [25] M. Das, A. Roy, S. Maity, and S. Kar, “A Quantum-inspired Ant Colony Optimization for solving a sustainable four-dimensional traveling salesman problem under type-2 fuzzy variable,” Advanced Engineering Informatics, vol. 55, p. 101816, Jan. 2023.
- [26] J. Heins, J. Bossek, J. Pohl, M. Seiler, H. Trautmann, P. Kerschke, “A study on the effects of normalized TSP features for automated algorithm selection,” Theoretical Computer Science, 940, Part B, pp. 123-145, 2022.
- [27] T. Ray and P. Saini, Engineering design optimization using swarm with an intelligent information sharing among individuals,” Engineering Optimization, vol. 33, no. 6, pp. 735–748, Aug. 2001.
- [28] A.D. Belegundu, “A Study of Mathematical Programming Methods for Structural Optimization,” Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Iowa, Iowa, IA, 1982.
- [29] T. Ray and K.M. Liew, “Society and civilization: an optimization algorithm based on the simulation of social behavior,” IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 7, no. 4, pp. 386–396, Aug. 2003,
- [30] V. Grković and R. Bulatović, “Modified Ant Colony Algorithm for Solving Engineering Optimization Problems,” IMK-14 – Research & Development, vol. 18, no. 4, EN115-122 UDK 621, 2012.
- [31] L.D.S. Coelho and V.C. Mariani, “Use of chaotic sequences in a biologically inspired algorithm for engineering design optimization,” Expert Systems With Applications, vol. 34, no. 3, pp. 1905–1913, Apr. 2008.
- [32] L. Cagnina, S.C. Esquivel, and C. a. C. Coello, “Solving Engineering Optimization Problems with the Simple Constrained Particle Swarm Optimizer,” Informatica, vol. 32, pp. 319–326, 2008.
- [33] S.S. Rao, “Engineering Optimization: Theory and Practice,” John Wiley & Sons, 1996.
- [34] Q. Li, P. Xu, L. Li, W. Xu, “Tan, D. Investigation on the Lubrication Heat Transfer Mechanism of the Multilevel Gearbox by the Lattice Boltzmann Method,” Processes, vol. 12, p. 381, 2024.
- [35] L. Maccioni, F. Concli, M. Blagojevic, “A new three-stage gearbox concept for high reduction ratios: Use of a nested-cycloidal architecture to increase the power density,” Mechanism and Machine Theory, vol. 181, p. 105203, 2023.
- [36] M.Habib Farhat, T. Hentati, X. Chimentin, F.Bolae rs, F. Chaari, M. Haddar, “Numerical model of a single stage gearbox under variable

- regime,” *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, vol. 51, no. 2, pp. 1054-1081, 2023.
- [37] A.B. Tatar, “Planet Redüktörlü Robotik Aktüatör Tasarımı ve Üç Boyutlu (3B) Yazıcı ile İmalatı,” *IJ3DPTDI*, vol. 7, no. 2, pp. 161-168, 2023.
- [38] M. Demir, F. Güner, “Generating a Matlab Code with Parameter Optimization in Gearbox,” *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 12, no. 2, pp. 1098-1107, 2022.
- [39] S. Koçak, Y. Kaplan, A.T. Güner, “Sonsuz Vida Mekanizması ile Yeni Tasarlanan Bilyeli Sonsuz Vida Mekanizmasının Verimlerinin Deneysel Olarak Karşılaştırılması,” *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 160-168, 2020.
- [40] H. Saruhan, İ. Uygur, “Design optimization of mechanical system using genetic algorithms,” *SAUJS*, vol. 7, no. 2, pp. 77-84, 2003
- [41] H. Eskandar, A. Sadollah, A. Bahreininejad, and M. Hamdi, “Water cycle algorithm – A novel metaheuristic optimization method for solving constrained engineering optimization problems,” *Computers & Structures*, vol. 110-111, pp. 151-166, Nov. 2012.
- [42] A. Baykasoglu, F.B. Ozsoydan, “Adaptive firefly algorithm with chaos for mechanical design optimization problems,” *Appl soft Comput*, vol. 36, pp. 152-164, 2015.
- [43] N.B. Guedria, “Improved accelerated pso algorithm for mechanical engineering optimization problems,” *Appl Soft Comput*, vol. 40, pp. 455-467, 2016.
- [44] S. Akhtar, K. Tai, T. Ray, “A socio-behavioural simulation model of engineering design optimization,” *Eng. Optimiz.*, vol. 34, pp. 341-354, 2002.
- [45] E. Mezura-Montes, C.A.C. Coello, R. Landa-Becerra, “Engineering optimization using a simple evolutionary algorithm,” in: *Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, 2003.
- [46] H. Aguirre, A.M. Zavala, E.V. Diharce, S.B. Rionda, “COPSO: constrained optimization via PSO algorithm,” Technical report No. I-07-04/22-02-2007, Center for Research in Mathematics (CIMAT), 2007.
- [47] G. Tomassetti, “A cost-effective algorithm for the solution of engineering problems with particle swarm optimization,” *Eng. Optimiz.*, vol. 42, pp. 471-495, 2010.
- [48] B. Akay, D. Karaboga, “Artificial bee colony algorithm for large-scale problems and engineering design optimization,” *J. Intell. Manuf.*, vol. 23, no. 4, pp. 1001-1014, 2012.
- [49] A.H. Gandomi, X.-S. Yang, A.H. Alavi, S. Talatahari, “Cuckoo search algorithm: a metaheuristic approach to solve structural optimization problems,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 29, pp. 17-35, 2013.
- [50] I. Brajevic, M. Tuba, An upgraded artificial bee colony (ABC) algorithm for con-strained optimization problems, *J. Intell. Manuf.*, vol. 24, pp. 729-740, 2013.
- [51] X.-S. Yang, A.H. Gandomi, “Bat algorithm: a novel approach for global engineering optimization,” *Eng. Comput.*, vol. 29, no. 5, pp. 464-483, 2012.
- [52] E. Mezura-Montes and C. a. C. Coello, “Useful Infeasible Solutions in Engineering Optimization with Evolutionary Algorithms,” in *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 652-662, 2005.
- [53] J.N. Siddall, “Analytical Decision-Making in Engineering Design,” Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1972.
- [54] J. Golinski, “An adaptive optimization system applied to machine synthesis,” *Mech. Mach. Synth.*, vol. 8, pp. 419-436, 1973.
- [55] M.A. Elaziz,, L. Abualigah,, A.A. Ewees, et al., “Triangular mutation-based manta-ray foraging optimization and orthogonal learning for global optimization and engineering problems”, *Appl Intell*, vol. 53, pp. 7788-7817, 2023.
- [56] E.O. Wilson, B. Hölldobler, “Dense hierarchies’ and mass communication as the basis of organization in ant colonies,” *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 3, no. 3, pp. 65-8, 1988
- [57] B. Benhala ve ark. , “Sizing of current conveyors by means of an Ant Colony Optimization technique,” *International Conference on Multimedia Computing and Systems*, Ouarzazate, Morocco, 2011, pp. 1-6, 2011.
- [58] M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colomi, “The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B*, vol. 26, no. 1, pp. 1-13, 1996.
- [59] Q. Shen, J. Jiang, J. Tao, G. Shen, and R. Yu, “Modified Ant colony Optimization Algorithm for variable selection in QSAR modeling: QSAR studies of cyclooxygenase inhibitors,” *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 45, no. 4, pp. 1024-1029, Apr. 2005.
- [60] S. Gorbatyuk, A. Khan, M. Doddamani, V. Fiore, M.M. Moure Cuadrado, “Drilling characteristics and properties analysis of fiber reinforced polymer composites: A comprehensive review,” *Heliyon*, vol. 9, no. 3.
- [61] C. Li, G. Wang, Y. Jiang, H. Song, “A novel traction reducer: analysis and verification”, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, vol. 18, no. 2, pp. 1-18, 2024.
- [62] E. Kalaman, “İki Kademeli Redüktör Tasarımı Ve Optimizasyonu,” *Lisans tezi, Makina Mühendisliği Bölümü, T.C Beykent Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*, 2023.



Optimization of Feed Ration Cost in Dairy Cattle by Genetic Algorithm

Sağmal İneklerde Yem Rasyonu Maliyetinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu

¹Ertuğ ATICI , ^{2,3}Abdullah ELEN 

¹Bandırma Onyedi Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Bandırma/Türkiye

²Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Software Engineering, Bandırma/Türkiye

³Bandırma Onyedi Eylül University, Computer Application and Research Center, Bandırma/Türkiye

¹aticiertug@gmail.com, ²aelen@bandirma.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 12 February 2024

Accepted : 31 March 2024

Keywords:

Livestock Breeding, Dairy Cattle, Feed Ration, Genetic Algorithm, Optimization

ABSTRACT

Feeding animals is one of the important problems of those dealing with livestock breeding. In order for animals to live a healthy life, they need to have adequate and balanced nutrition. Providing nutrients from cheaper sources has an important place in animal husbandry. In this study, it was aimed to prepare low-cost feed rations for dairy cattle with Genetic Algorithm (GA). In the experiments, a milk yield of 20 and 25 Kg with 3.5% fat was targeted, taking as reference dairy cattle with a body weight of 450 to 600 Kg in the 10th lactation week. The results of the proposed model were compared to the National Dairy Council's raw milk production cost in June 2023, yielding an approximately 20% gain in feed cost. In addition, the proposed model is compared with Particle Swarm and Ant Colony optimization algorithms and the results are discussed.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 12 Şubat 2024

Kabul : 31 Mart 2024

Anahtar Kelimeler:

Hayvancılık, Süt Sığırdı, Yem Rasyonu, Genetik Algoritma, Optimizasyon

ÖZET

Havyan besleme, besicilik ile uğraşanların önemli sorunlarından biridir. Hayvanların sağlıklı bir yaşam sürebilmesi için yeterli ve dengeli beslenmeleri gerekir. Besin öğelerinin daha ucuz kaynaklardan sağlanması hayvancılıkta önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada, süt sığırları için Genetik Algoritma (GA) ile düşük maliyetli yem rasyonlarının hazırlanması amaçlanmıştır. Deneyle, 10'uncu laktasyon haftasındaki 450 ile 600 Kg vücut ağırlığına sahip süt sığırları referans alınarak %3,5 yağlı 20 ve 25 Kg süt verimi hedeflenmiştir. Önerilen modelin sonuçları, Ulusal Süt Konseyi'nin 2023 Haziran ayındaki çiğ süt üretim maliyeti ile karşılaştırılmış ve yem maliyetinde yaklaşık %20'lik bir kazanç sağlanmıştır. Buna ek olarak önerilen model, Parçacık Sürüsü ve Karınca Kolonisi optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırılmış ve sonuçları tartışılmıştır.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayımlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. INTRODUCTION

Animal production, one of the two main production areas of agriculture, aims primarily at the economic production of basic nutrients such as meat, milk and eggs, which ensure the survival of humankind and are indispensable elements of a balanced diet. Animal products are relatively expensive products that contain all the nutrients that humans need, especially protein, vitamins and minerals, in appropriate proportions, are easy to digest, have a unique taste and are relatively expensive. Therefore, the most important indicator of individual and social development is the production and consumption of animal products in sufficient quantities [1, 2].

The most important expense in animal production is feed and it constitutes approximately 70% of the total input. This indicates that for economical animal production, people working in this field must have sufficient knowledge about feeds [3, 4]. Increases in compound feed prices in our country, due to reasons such as the fact that feed raw material prices are above the world average, insufficient working capital and stock, the contractual raw material production model has not been developed, and the price formation according to quality, also pose an obstacle to the development of the compound feed industry [5].

In the nutrition of dairy cattle, emphasis should be placed on providing rough and concentrated feed, while providing cheap and high quality feed, and on the other hand, preparing a balanced nutrition program. Features such as the animal's breed, age, live weight, target milk yield and fat rate, lactation periods and general condition of the animal constitute important elements in determining nutritional requirements [6]. Today, animal production has made it necessary to develop solution-oriented projects not only in the fields of food, agriculture and mechanical engineering, but also in the fields of electronics and software. Various methods are used to meet the feed needs in animal production at low costs.

In our country, programs purchased from abroad to prepare feed rations cause high feed costs. At the same time, it increases the total cost by re-claiming usage fees every year. On the other hand, due to regional differences in feed raw materials, it appears that imported software does not fully meet the needs of animals consuming these feeds [7].

While traditional methods such as trial and error, Pearson Square method and algebraic calculation are used in the preparation of an optimal feed ration, with the development of technology, computer-aided methods and metaheuristics have also begun to be used. Additionally, linear and non-linear programming techniques are used in many studies in this field: A linear programming model was developed to reduce the total feed costs for dairy farm [8], dairy cattle feeding and feed calculator developed as a mobile application [9], mixed feed ration optimization using the GA [10], development of ration formulation for buffalo breeding [11], hybrid evolution strategies, and linear programming for beef cattle feed optimization [12]. Existing studies have demonstrated the benefits of using optimization problems to achieve stated goals. Milani et al. [13] stated that one of the most important points in animal nutrition is the preparation of appropriate rations. They reported that proper feeding of animals in terms of cost and production can significantly increase the productivity of livestock farming enterprises. They state that preparing an ideal feed ration is about accurately determining the animal's nutritional needs. They reported that feed ration preparation can be considered a NP (*Non-polynomial*) problem due to the presence of various parameters and many constraints after the animal's needs are met. Fatyanosa et al. [12] stated that the biggest obstacle faced by cattle breeders is the high-cost of feed. Livestock breeders have stated that cattle feed should be formulated that meets the nutritional requirements of cattle and minimizes feed costs. They also stated that this type of problems belongs to the constrained optimization class. They reported that various heuristic and deterministic algorithms were used to solve constrained optimization problems and applied to feed composition. However, they state that while it can consistently discover solutions that are truly close to the global optimum of the problem, there is still some instability in finding an essentially reliable technique.

The GA, one of the metaheuristic methods, is used in engineering, economics, mathematics, chemistry, physics, etc. it is widely used in many fields of science and technology [14, 15]. It is a well-known optimizer that has proven itself with its strong methodology in various types of scientific research. Studies on the preparation of cattle feeds show that the GA can be used to prepare low-cost feed rations [16].

There are many scientific studies in the literature aimed at preparing low-cost animal nutrition programs. Some of them are as follows: Wijayaningrum and Mahmudy [10] reported that determining feed ingredients is a difficult process and that various constraints such as minimizing the total cost of feed ingredients and maximizing the nutritional needs of farm animals must be taken into account simultaneously. They proposed a modified GA model to solve the problem. They reported that the change was made by applying numerical methods in creating the initial population in the GA. In their test results, they reported that the optimal parameters that can be used to produce a solution are the population size of 300, the number of iterations of 400, the crossover rate of 0.2 and the mutation rate of 0.6. They reported that the modified GA provided an average fitness value of 0.142357, while the classical GA provided an average fitness value of 0.094354. They proved that their proposed method provides a better result with a higher fitness value compared to classical GA. In their study, Guo and Zhang [17] proposed a feed formulation preparation method based on the principle of Differential Evolution (DE) algorithm to increase the feeding efficiency of lactating dairy cows and reduce feed costs. They used the NRC-2001 basic nutrient requirement prediction model of dairy cows and the common feed data of dairy cows in the Chinese Feed Database, and performed the feed formulation experiment for lactating dairy cows by analyzing the feed formulation with the DE algorithm. They reported that their method provided better performance in feed formulation results

compared to the Linear Programming method. Juan et al. [18], in beef cattle; they reported that nutritional requirements vary according to live weight and live weight gain targets. They reported that it may be harmful for breeders because the live weight gain target cannot be achieved with an inappropriate feed ration and feed funds are spent inappropriately. They reported that the solutions produced by GA are close to the values needed by beef cattle and can be used to search for feed ration solutions. Hassani et al. [19] proposed in their study an intelligent and automatic model to optimize durability and sustainability in industrial dairy farms. They reported that to obtain the best result, they measured the model with both GA and PSO. Although both algorithms gave similar results, validation tests revealed the superiority of the genetic algorithm. Based on the results, they reported that the proposed model can increase the durability and sustainability of production on dairy farms and reduce environmental degradation caused by the production process. Uyeh et al. [20] in their study, they formulated a multi-purpose feed ration problem consisting of two objects; is to minimize feed cost and minimize deviation from stated requirements. They reported that the problem was solved using the population-based evolutionary multi-objective optimization algorithm NSGA-II, which resulted in an optimal set of comprehensive solutions in a single run. They reported that the availability of the full set of solutions included facilitates understanding of the relationship between different nutritional requirements and cost, thus leading to a more efficient decision-making process. They reported that they demonstrated the applicability of their proposed method by performing experimental simulations on several dairy and beef cattle feed ration problems. Kuntal et al. [21] in their study, they proposed a GP model that produces 10 liters of milk with 6% fat content for a non-pregnant buffalo weighing 450 kg and takes into account the standard nutrient requirement on a dry matter basis. Das and Mallik [22] stated in their study that it triggered the need for efficient evolutionary algorithms to find feed mix with minimum cost and maximum shelf life for dairy cattle. They reported that an attempt was made to introduce the self-adaptive multi-population approach with the recently proposed Quadratic Approximation-based Jaya (JaQA) algorithm. Also, they reported that the performance of this approach was tested on problems on the benchmark set of the Congress on Evolutionary Computation (CEC) 2006. According to their results, they reported that the proposed technique was more successful than some new algorithms. They then incorporated this approach into two real-life case studies to optimize feed costs for dairy cattle. The improved results under the applicable area indicated that the proposed method is farmer-friendly.

In this study, it was aimed to prepare a low-cost feed ration that provides the targeted milk yield in cattle by using the GA, one of the well-known metaheuristic methods. The developed GA-based feed ration model uses a dataset consisting of roughage, concentrated feed and minerals. For the targeted milk productivity, the proposed method was tested in three different experiments consisting of cattle with 450 and 600 kg body weight. Source code of the proposed model and dataset publicly available at GitHub (<https://github.com/abdullahelen/FeedRationOptimizer>).

2. NUTRIENT REQUIREMENTS OF DAIRY CATTLE

Dairy cattle need nutrients such as water, carbohydrates, protein, fat, vitamins and minerals in order to survive and obtain high productivity from them. All substances containing organic and inorganic nutrients that can be safely fed to animals in order to meet these requirements are called feed. The feed mixture that fully meets the nutritional requirements of an animal in its daily life is called a ration. Meeting survival and productivity needs requires consumption of sufficient amounts of nutrients (energy, protein, minerals, vitamins and water) [23]. The ration that meets all these needs is called a balanced ration. In other words, it is a feed mixture that meets the animal's daily nutritional requirement in an appropriate ratio and amount. The amount of feed containing the basic nutrients needed by an animal that is resting or not productive to maintain its live weight and normal body temperature and maintain its vital functions is called survival ration. The daily feed given to animals in addition to the survival rate ration in order to obtain animal productivity is called the yield ration [24]. In addition, nutrient needs of animals vary according to their physiological periods. For this reason, nutritional and energy needs were calculated based on productivity functions such as survival, growth, development, pregnancy, lactation and wool according to the animal species. These calculated values are considered nutritional standards. Therefore, feeding standards must be taken into consideration in the preparation of feed rations [25].

In order to achieve the targeted productivity in dairy cattle, improving environmental conditions is an important issue, in addition to the balanced and regular nutrition mentioned. The main condition for ensuring optimum efficiency is to calculate the animal's survival rate and productivity rate completely and accurately in terms of energy and nutritional needs and to feed it according to this principle. In terms of high milk productivity, it is essential to prepare an appetizing ration for dairy cattle with protein, fat, carbohydrates, vitamins, and minerals such as *Ca*, *P* and salt [26]. The daily dry matter rates that dairy cattle can consume vary depending on live weight and targeted milk productivity. NRC-2001 [27] estimates the dry matter intake (DMI) of lactating cows. The DMI equation is a combined combination of two published equations [28, 29]. The formulation in Eq. (1) is universal in that it can be applied at all stages of lactation in dairy cattle [30].

$$DMI = \frac{372}{1000} FCM + \frac{968}{10000} BW^{0.75} \times \left(1 - e^{\left[\frac{-192}{1000} \times \left(WOL + \frac{367}{100} \right) \right]} \right) \quad (1)$$

where FCM (fat-corrected milk) refers to the amount of fat-corrected milk, BW (body weight) refers to body weight of the animal, and WOL (week of lactation) refers to the lactation week of the dairy cattle. The amount of fat-corrected milk is calculated as shown in Eq. (2).

$$FCM_{\%} = 0.4Y_M + 15F_M \quad (2)$$

where Y_M refers to the amount of milk in kg and F_M refers to the amount of fat in milk in kg. For the F_M value here, 3.5% to 4% of the milk amount in Holstein cows is used. The F_M can take may vary for dairy cattle of different breeds. Calculating dry matter intake gives more accurate results, especially when calculations are made taking into account the Neutral Detergent Fiber (NDF) found in roughage [28]. However, less than 1% variation is seen in calculating the dry matter intake of dairy cows fed high-energy feeds containing 25-42% NDF dry matter [29].

All farm animals require energy for the maintenance of body functions, control of body temperature and productivity. Feed needs of farm animals; It is divided into two: maintenance and yield. The reason for this is that animals use some of the feed they eat to survive and some to produce productivity. The amount of energy required by dairy cows for daily living is given in Eq. (3) according to NRC-1989 [31].

$$\begin{aligned} NE_M &= 0.08 BW^{0.75} \text{ Mcal/day} \\ ME &= 0.133 BW^{0.75} \text{ Mcal/day} \end{aligned} \quad (3)$$

The NRC reported the net energy requirement for maintenance (NE_M) as 0.073 Mcal/Kg metabolic body weight, and by adding 10% as activity, it was defined as 0.08 Mcal NE_M . These requirements are for adult dairy cattle. Since young dairy cattle are still developing, 20% more is taken for dairy cattle in the first lactation and 10% more for cows in the second lactation.

The energy requirement for productivity in dairy cattle is calculated based on the energy content of the milk. In addition, the energy content of milk also varies depending on the amount of fat. NRC-1989 reported that 0.74 Mcal NE_L is required for 1kg of milk with 4% fat. Depending on the milk fat content, the energy amounts required for 1kg of milk according to different energy systems are as in Eq. (4).

$$\begin{aligned} NE_L &= 0.3512 + 0.0962f \text{ (Mcal/kg milk)} \\ ME &= 0.577 + 0.165f \text{ (Mcal/kg milk)} \end{aligned} \quad (4)$$

One of the issues that dairy cattle breeders attach importance to is providing adequate nutrition corresponding to the energy needed in the early period of lactation. To overcome this problem, energy density of the ration must be increased. Daily protein needs of a dairy cattle are expressed in digestible Crude Protein (CP) and its unit is gram. This is also the sum of maintenance and yield margin. The formulation given in Eq. (5) is used to determine the CP requirement in dairy cattle.

$$CP = 3.7 BW^{0.75} + 85 Y_M \quad (5)$$

where CP refers to the crude protein requirement of the dairy cattle in grams, $BW_{0.75}$ refers to the metabolic body weight and Y_M refers to the milk yield in Kg.

Minerals are elements necessary for the health and productivity of the animal. Minerals are typically classified as metal elements, which are inorganic compounds essential for many different body functions, from structure to nerve impulses to osmotic balance. Minerals are divided into two categories: macro minerals (Ca, P, Mg, K, Cl, Na and S) and micro minerals (Cu, I, Fe, Mn, Mo, Zn, Se). While the amount required for macro minerals is in grams, micro minerals are in mg or μg [32]. Minerals that should be included in the rations of dairy cows; They are Calcium (*Ca*), Phosphorus (*P*), Magnesium (*Mg*), Sodium (*Na*), Chlorine (*Cl*), Sulfur (*S*) and Potassium (*K*). Sodium and Chlorine are added to rations as salt. Another important issue here is the Ca/P ratio. With the onset of lactation, the need for *Ca* and *P* increases significantly. Because milk contains significant amounts of *Ca* and *P* minerals [33]. It is essential that calcium and phosphorus are present in certain proportions in the rations of dairy cows. This ratio (*Ca/P*) should be between 1/1~2/1. *Ca* requirement in dairy cattle can be calculated with the formulation in Eq. (6).

$$Ca = 0.0154 BW^{0.75} + (1.22 FCM) \div 0.38 \quad (6)$$

Here, *Ca* refers to the calcium requirement of dairy cattle in grams, BW refers to the body weight of the dairy cattle, and FCM refers to the amount of fat-corrected milk. Additionally, the value of 0.38 in this equation shows the absorption efficiency of calcium in animal feed. *P* requirement in dairy cattle can be calculated with Eq. (7).

$$P = 0.143 BW^{0.75} + (0.99 FCM) \div 0.5 \quad (7)$$

Here, *P* refers to the phosphorus requirement of dairy cattle in grams, BW refers to the body weight of dairy cattle, and FCM refers to the amount of fat-corrected milk. The recommended amount of *Na* for lactating cows is 0.18% and the amount of *Cl* is 0.25%. These amounts are 80% more than requirement of dairy cattle in dry period [33]. Fats contain more energy than concentrated feeds and therefore can be preferred in preparing high-energy rations for dairy cattle [34]. 1kg of fat contains approximately 2-2.5 times more energy than 1kg of carbohydrates. If fat

is used instead of some of the carbohydrates in the diet, the energy efficiency of the diet will increase. Thus, problems such as high starch content in the feed ration and insufficient roughage will be eliminated. Feeding recommendations typically state that no more than 8% fat in total dry matter should be fed [32].

3. MATERIAL AND METHOD

In this section, technical details are given about dataset we used in feed ration preparation and, the constraint and fitness function designed for the proposed GA model.

3.1. Dataset

The dataset is included in the book published in 2001 by the NRC (National Research Council) in the USA under the name “Nutrient Requirements of Dairy Cattle” [27]. The tables in the Nutrient Compositions of Feeds section in the book have been examined, and the relevant values containing the nutritional and mineral compositions of some feedstuffs commonly used in dairy cattle have been created from these tables as reference.

Table 1. Roughages in the ration dataset.

#	Feedstuff	Price (TL/Kg)	DM %	CP %	ME Mcal/kg	NEI Mcal/kg	EE %	NDF %	ADF %	Ash %	Na %	Ca %	P %	Sugar %	Starch %
1	Alfalfa	6.500	90.3	19.2	1.96	1.19	2.50	41.6	32.8	11.0	0.10	1.47	0.28	7.90	1.40
2	Corn silage	2.600	35.1	8.80	2.33	1.45	3.20	45.0	28.1	4.30	0.01	0.28	0.26	1.42	27.0
3	Wheat straw	2.400	92.7	4.80	1.44	0.82	1.60	73.0	49.4	7.60	0.12	0.31	0.10	0.70	2.60
4	Wheat silage	2.000	33.3	12.0	1.91	1.16	3.20	59.9	37.6	8.60	0.07	0.38	0.29	1.60	4.40

Table 2. Concentrate feeds in the ration dataset.

#	Feedstuff	Price (TL/Kg)	DM %	CP %	ME Mcal/kg	NEI Mcal/kg	EE %	NDF %	ADF %	Ash %	Na %	Ca %	P %	Sugar %	Starch %
1	Barley	6.400	91.0	12.4	2.92	1.86	2.20	20.8	7.20	2.90	0.02	0.06	0.39	2.43	52.34
2	Canola meal	8.250	90.3	37.8	2.75	1.76	5.40	29.8	20.5	7.40	0.07	0.75	1.10	8.20	8.30
3	Corn gluten meal	13.50	86.4	65.0	3.66	2.38	2.50	11.1	8.20	3.30	0.05	0.06	0.60	1.58	18.12
4	DDGs	8.700	90.2	29.7	3.03	1.97	10.0	38.8	19.7	5.20	0.30	0.22	0.83	4.44	7.78
5	Maize	6.300	88.1	9.40	3.12	2.01	4.20	9.50	3.40	1.50	0.02	0.04	0.30	1.54	71.86
6	Cotton bagasse	5.700	90.5	44.9	2.70	1.71	1.90	30.8	19.9	6.70	0.07	0.20	1.15	2.12	0.33
7	By-pass FCS	42.00	95.3	0.00	6.27	5.02	84.5	0.00	0.00	15.5	0.00	12.0	0.00	0.00	0.00
8	Molasses	5.650	77.9	8.50	2.88	1.84	0.20	0.10	0.10	11.4	1.48	0.15	0.03	68.0	0.00
9	Rice bran	7.800	90.6	15.5	3.09	2.05	15.2	26.1	13.1	10.4	0.03	0.07	1.78	0.57	21.46
10	Soybean meal	12.70	89.5	53.8	3.41	2.21	1.10	9.80	6.20	6.40	0.03	0.35	0.70	11.3	3.77
11	Soybean hull	6.300	91.0	43.0	4.0	2.72	19.0	22.1	14.7	5.00	0.01	0.26	0.64	10.4	2.80
12	Sunflower meal	7.500	92.2	28.4	2.24	1.38	1.40	40.3	30.0	7.70	0.04	0.48	1.00	7.35	8.27
13	Wheat bran	5.600	89.1	17.3	2.55	1.61	4.30	42.5	15.5	6.30	0.04	0.13	1.18	4.73	21.79
14	Wheat	6.700	89.4	14.2	3.10	1.99	2.30	13.4	4.40	2.00	0.01	0.05	0.43	2.12	65.1

The dataset we use in experimental studies is divided into three main categories: roughages, concentrated feeds and minerals. As shown in Table 1, there are alfalfa, wheat straw, corn and wheat silage in the roughage category, and the nutritional values and unit prices of these feeds in kg are also included. Similarly, nutrients in the concentrated feed category are listed in Table 2, and nutritional values of minerals and unit prices in kg are listed in Table 3. Abbreviations in the columns of tables (Table 1, Table 2 and Table 3): dry matter (DM), crude protein (CP), metabolic energy (ME), net energy of lactation (NEI), ether extract (EE), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), sodium (Na), calcium (Ca) and phosphor (P). In addition, DDGs in Table 2 stands for dried distillers grains with soluble; MCP and DCP in Table 3 stand for Monocalcium phosphate and Dicalcium phosphate, respectively. The kg values of all feedstuffs in the tables are for 2023 and are in Turkish Lira.

3.2. GA-based Feed Ration Model

In our GA-based model, we designed a fitness function considering the key requirements used in development and implementation of the NRC feeding programs for dairy cattle. The goal in solving the problem is the lowest cost feed ration that can provide dairy cattle's needs in a balanced way (taking into account nutritional standards). The four main elements that need to be known when preparing a ration are as follows: Nutrient requirements of dairy cattle, nutrient contents, restrictive features and raw material costs.

The first stage of the developed model is to transform the attributes of various types of food resources into a computable table. The dataset (v), which we used in experimental studies and shown divided into separate nutrient categories in Table 1, Table 2 and Table 3, was converted into a single data model consisting of 23 rows and 16 columns for ease of calculation of costs and constraints. Thus, the content of a feedstuff in i -th row is defined as

Table 3. Minerals in the ration dataset.

#	Feedstuff	Price (TL/Kg)	DM %	CP %	ME Mcal/kg	NEI Mcal/kg	EE %	NDF %	ADF %	Ash %	Na %	Ca %	P %	Sugar %	Starch %
1	Calcium carbonate	0.475	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99	0.00	34.0	0.02	0.00	0.00
2	MCP	32.00	97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	97	0.00	16.4	21.6	0.00	0.00
3	DCP	35.00	97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	97	0.00	22.0	19.3	0.00	0.00
4	Sodium chloride	2.250	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	39.34	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Sodium bicarbonate	13.50	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	27.0	0.00	0.00	0.00	0.00

shown below:

- $v_{i,1}$: Type of nutrient (1: roughage, 2: concentrated feed, 3: mineral)
- $v_{i,2}$: Amount of nutrients used in the ration.
- $v_{i,3}$: Price per kilogram of the nutrient in ₺
- $v_{i,4}$: Dry Matter (DM) ratio
- $v_{i,5}$: Crude Protein (CP)
- $v_{i,6}$: Metabolic Energy (ME)
- $v_{i,7}$: Net Energy of Lactation (NEI)
- $v_{i,8}$: Ether-extract (EE)
- $v_{i,9}$: Neutral Detergent Fiber (NDF)
- $v_{i,10}$: Acid Detergent Fiber (ADF)
- $v_{i,11}$: Ash ratio
- $v_{i,12}$: Sodium (Na)
- $v_{i,13}$: Calcium (Ca)
- $v_{i,14}$: Fosfor (P)
- $v_{i,15}$: Sugar
- $v_{i,16}$: Starch

In the GA-based feed ration model, a chromosome is represented as shown in Fig. (1). The gene values represented on the chromosome include amounts in grams of the 23 nutrients in the dataset. The value range for each gene is from 0 to DMI given in Eq. (1), converted to grams ($DMI \times 1000$). In the GA model, the roulette wheel selection method and the double-point crossover method were used. Crossover and mutation rates were determined as 85% and 1%, respectively.

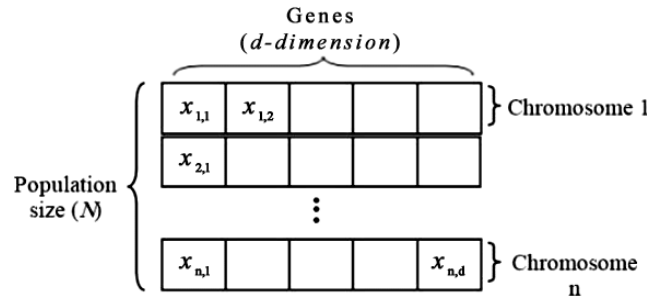


Figure 1. Representation of chromosomes and genes in the population.

Accordingly, for a possible solution, genes with nutrient weights other than 0 will be used in the preparation of the ration. That is, the prepared feed ration may contain 23 different nutrients or less. When calculating the fitness value of chromosomes, minimizing the total feed cost is taken as a basis, and the constraints explained below must also be taken into consideration. The difference between the total dry matter in solution found by the GA and the required minimum dry matter amount (DMI) is as in Eq. (7). Accordingly, if the GA solution contains a value below the DMI, a penalty coefficient equal to the difference will be applied.

$$f_{DMI}(i) = DMI - \min \left(DMI, \sum_{j=1}^d x_{i,j} \cdot \frac{v_{i,4}}{100} \right) \quad (7)$$

Where $v_{i,4}$ is the dry matter ratio of the j -th food and $x_{i,j}$ is the amount of nutrient represented by the j -th gene of the i -th chromosome. Similarly, the difference between required minimum crude protein (CP) amount and the GA solution is calculated as in Eq. (8).

$$f_{CP}(i) = CP - \min \left(CP, \sum_{j=1}^d x_{i,j} \cdot \frac{v_{i,5}}{100} \right) \quad (8)$$

Where $v_{i,5}$ is the crude protein ratio of the j -th food. The constraint function where ash rate in the feed ration is desired to be a maximum of 10% of the dry matter amount is as in Eq. (9).

$$f_{Ash}(i) = \max\left(\sum_{j=1}^d x_{i,j} \cdot \frac{v_{i,11}}{v_{i,4}}, 0.1\right) - 0.1 \quad (9)$$

Where $v_{i,4}$ and $v_{i,11}$ represent the dry matter and ash ratios of the j -th food, respectively. The desired constraint function for sugar rate in the feed ration to be a maximum of 8% of the dry matter amount is as in Eq. (10).

$$f_{Sugar}(i) = \max\left(\sum_{j=1}^d x_{i,j} \cdot \frac{v_{i,15}}{v_{i,4}}, 0.08\right) - 0.08 \quad (10)$$

Where $v_{i,4}$ and $v_{i,15}$ represent the dry matter and sugar ratios of the j -th food, respectively. The constraint function where starch rate in the feed ration is desired to be a maximum of 35% of the dry matter amount is as in Eq. (11).

$$f_{Starch}(i) = \max\left(\sum_{j=1}^d x_{i,j} \cdot \frac{v_{i,16}}{v_{i,4}}, 0.35\right) - 0.35 \quad (11)$$

Where $v_{i,4}$ and $v_{i,16}$ represent the dry matter and starch ratios of the j -th food, respectively. The desired constraint function for the ether extract (EE) ratio in the feed ration to be a maximum of 6% of the dry matter amount is as in Eq. (12).

$$f_{EE}(i) = \max\left(\sum_{j=1}^d x_{i,j} \cdot \frac{v_{i,8}}{v_{i,4}}, 0.06\right) - 0.06 \quad (12)$$

Where $v_{i,4}$ and $v_{i,8}$ are the dry matter and ether-extract ratios of the j -th food, respectively. The constraint function that ensures that roughage ratio in the feed ration is not less than 40% is as in Eq. (13).

$$f_{Roughage}(i) = 0.4 - \min\left(\frac{\sum_{j=1}^d \begin{cases} x_{i,j} & v_{i,1}=1 \\ 0 & otherwise \end{cases}}{\sum_{j=1}^d x_{i,j}}, 0.4\right) \quad (13)$$

The constraint function that the amounts of calcium (Ca) and phosphorus (P) in the ration should not be less than the value determined according to Eq. (6) and (7) is as in Eq. (14).

$$f_{Ca}(i) = Ca - \min\left(\sum_{j=1}^d x_{i,j} \cdot v_{i,13}, Ca\right), \quad (14)$$

$$f_P(i) = P - \min(\sum_{j=1}^d x_{i,j} \cdot v_{i,14}, P)$$

Where $v_{i,13}$ and $v_{i,14}$ are the calcium and phosphorus ratios of the j -th food, respectively. The constraint function for which the amount of salt in the feed ration should be between 50 and 75 grams is as in Eq. (15).

$$f_{NaCl}(i) = 50 - \min\left(\sum_{j=1}^d (x_{i,j} \cdot v_{i,13}), 50\right) + \max\left(\sum_{j=1}^d (x_{i,j} \cdot v_{i,13}), 75\right) - 75, \quad (15)$$

$$f_{NaHCO_3}(i) = 50 - \min\left(\sum_{j=1}^d (x_{i,j} \cdot v_{i,14}), 50\right) + \max\left(\sum_{j=1}^d (x_{i,j} \cdot v_{i,14}), 75\right) - 75$$

Up to this point, mathematical notations of constraint functions designed according to the NRC's recommendations have been explained. In the next stage, we define the fitness function that is included in the constraints. The sum of feed costs and penalty points calculated for all chromosomes in the population is shown in Eq. (16).

$$F(i) = \sum_{j=1}^d x_{i,j} \cdot v_{i,3} \left(1 + D \cdot f_{DMI}(i) + \frac{3}{2} (f_{CP}(i) + f_{Roughage}(i)) + \frac{f_{Ca}(i) + f_P(i)}{10} \right) \quad (16)$$

In order to solve the low-cost feed ration problem with the GA, a fitness function was prepared by taking into account the above-mentioned constraints and a limited range of chromosome values. The fitness function given in Eq. (17) aims to find the minimum penalty score, taking into account nutritional standards.

$$fitness = \min\{i | i \in \{0,1, \dots, n\}, F_i\} \quad (17)$$

Where n is the population number. Accordingly, the fitness function finds the chromosome with the lowest penalties in the population at each iteration. The smallest fitness score of all time is found by Eq. (18).

$$fitness_{Best} = \begin{cases} fitness_t & fitness_t < fitness_{Best} \\ fitness_{Best} & otherwise \end{cases}, t | t \in \{0,1, \dots, T\} \quad (18)$$

Where T is the number of iterations. Accordingly, if the fitness value at the t -th iteration is less than the best value, the current fitness is determined as the best. This process is repeated continuously at each iteration until the algorithm is terminated.

4. EXPERIMENTAL RESULTS

In all our experimental studies, crossover and mutation rates of the GA are 85% and 1%, respectively. The number of iterations was determined as 500. Roulette-wheel was used for chromosome selection and two-point technique was used for crossover.

In the first experiment, the target was to produce 20kg of milk with 3.5% fat content from a cow in its 10th lactation week with a body weight of 450 kg. Table 5 lists the expected values of nutrient requirements for targeted milk productivity and the values found by the GA. When the results obtained are compared, it is seen that the GA significantly provides the expected nutritional requirement values in terms of zoo-technics. In addition, the values found in nutritional requirements; It was observed that results above expected values were obtained in CP, ME, NEI, Ca and P.

Table 5. Expected nutritional requirements and GA results for 20 kg of milk with 3.5% fat at 450 kg BW.

#	Nutrient requirements	Expected value	GA result
1	Amount of Dry Matter (DM)	15.16 Kg	15.16 Kg
2	Crude Protein (CP)	2061.5 g	2884.85 g
3	Metabolic Energy (ME)	36.08 Mcal	45.85 Mcal
4	Net Energy (NEI)	21.8 Mcal	28.7 Mcal
5	Crude Ash Ratio	10% ≤	7.32%
6	Sugar Ratio	8% ≤	9.09%
7	Starch Ratio	35% ≤	22.29%
8	Ether-extract (EE) Ratio	6% ≤	2.58%
9	Roughage Ratio	40% ≥	48.78%
10	Neutral Detergent Fiber (NDF) Ratio	25% >	46.84%
11	Amount of Calcium (Ca)	82.43 g	69.4 g
12	Amount of Phosphorus (P)	49.47 g	70.81 g

The feed ration solution found by the GA is given in Table 6. Considering the feed ingredients and food types according to the test results, feed ration containing the animal's daily nutritional requirements; It is seen that a total of 15 different feed ingredients are used, including four types of roughage, six types of concentrated feed and five types of minerals. Total weight in the feed ration is 19,11 Kg and feed cost is 103,57 TL. In the proposed feed ration solution, wheat straw and wheat silage were mainly used in roughage, and barley and molasses were used in concentrated feeds. Also, it is seen that the amount of sugar in the feed ration is 1% high in meeting nutritional requirements, but it meets other requirements at ideal rates.

In the second experiment, a dairy cattle with a body weight of 600 kg in the same lactation week (10th) is aimed to yield 20 kg of milk with a fat content of 3.5%. Table 7 shows the expected values of nutrient requirements for the targeted milk productivity and optimal results obtained with the GA. When the optimal results are compared,

Table 6. Feed ration prepared with the GA for 20 kg of milk with 3.5% fat at 450 kg BW.

#	Animal food ingredients	Type of nutrient	Amount (g)
1	Alfalfa	Roughage	1385
2	Corn Silage	Roughage	1130
3	Wheat Straw	Roughage	4606
4	Wheat Silage	Roughage	2198
5	Barley	Concentrate Feed	2014
6	Corn Gluten Meal	Concentrate Feed	1446
7	Dried Distillers Grains (DDGs)	Concentrate Feed	1040
8	Maize	Concentrate Feed	1464
9	Molasses	Concentrate Feed	2031
10	Wheat	Concentrate Feed	1591
11	Calcium Carbonate	Mineral	2
12	Monocalcium Phosphate (MCP)	Mineral	53
13	Dicalcium Phosphate (DCP)	Mineral	23
14	Sodium Chloride (NaCl)	Mineral	72
15	Sodium Bicarbonate (NaHCO ₃)	Mineral	50
		Total Price:	103.57 TL
		Total Feed Weight:	19.11 Kg

it is seen that GA significantly provides the zoo-technically expected nutrient requirement values. According to the first experiment, it was observed that there was an increase in the need for DM as the body weight of the animal increased from 450 Kg to 600 Kg. When the expected DM values for dry matter intake of NRC 2001 in Eq. (1) were compared, it was seen that the results were valid.

The feed ration solution found by the GA is given in Table 8. When the feed ingredients and types are examined according to the test results, the feed ration containing the daily nutritional requirements of dairy cattle; It is seen

Table 7. Expected nutritional requirements and GA results for 20 kg of milk with 3.5% fat at 600 kg BW.

#	Nutrient requirements	Expected value	GA result
1	Amount of Dry Matter (DM)	17.27 Kg	16.66 Kg
2	Crude Protein (CP)	2148.55 g	2689.09 g
3	Metabolic Energy (ME)	39.21 Mcal	47.84 Mcal
4	Net Energy (NEI)	23.68 Mcal	30.46 Mcal
5	Crude Ash Ratio	10% ≤	7.02%
6	Sugar Ratio	8% ≤	1.93%
7	Starch Ratio	35% ≤	20.38%
8	Ether-extract (EE) Ratio	6% ≤	6.43%
9	Roughage Ratio	40% ≥	47.18%
10	Neutral Detergent Fiber (NDF) Ratio	25% >	54.01%
11	Amount of Calcium (Ca)	88.5 g	126.39 g
12	Amount of Phosphorus (P)	53.76 g	93.61 g

that a total of 15 different feed ingredients are used, including three types of roughage, seven types of concentrated feed and five types of minerals. The total weight in the feed ration is 20,04 Kg and feed cost is 117,36 TL. In the proposed feed ration solution, mainly wheat straw and wheat silage were used in roughage, and dried distillers grains and corn were used in the concentrated feed. According to the first experiment, it is seen that the DM requirement resulting from the 150 Kg increase in body weight is met by wheat straw, which is predominantly from the roughage category.

Table 8. Feed ration prepared with the GA for 20 kg of milk with 3.5% fat at 600 kg BW.

#	Animal food ingredients	Type of nutrient	Amount (g)
1	Corn Silage	Roughage	761
2	Wheat Straw	Roughage	6688
3	Wheat Silage	Roughage	2006
4	Barley	Concentrate Feed	1050
5	Dried Distillers Grains (DDGs)	Concentrate Feed	2699
6	Maize	Concentrate Feed	2547
7	Cotton Bagasse	Concentrate Feed	1145
8	By-pass FCM	Concentrate Feed	609
9	Wheat Bran	Concentrate Feed	1377
10	Wheat	Concentrate Feed	965
11	Calcium Carbonate	Mineral	3
12	Monocalcium Phosphate (MCP)	Mineral	41
13	Dicalcium Phosphate (DCP)	Mineral	13
14	Sodium Chloride (NaCl)	Mineral	71
15	Sodium Bicarbonate (NaHCO ₃)	Mineral	63
Total Price:			117.36 TL
Total Feed Weight:			20.04 Kg

In the third and last experiment, the target was to produce 25 kg of milk with a fat content of 3.5% from a dairy cow with a body weight of 600 kg and in the 10th week of lactation. Table 9 shows the expected values of nutrient

Table 9. Expected nutritional requirements and GA results for 25 kg of milk with 3.5% fat at 600 kg BW.

#	Nutrient requirements	Expected value	GA result
1	Amount of Dry Matter (DM)	18.86 Kg	18.74 Kg
2	Crude Protein (CP)	2573.55 g	4510.45 g
3	Metabolic Energy (ME)	44.99 Mcal	52.12 Mcal
4	Net Energy (NEI)	27.18 Mcal	32.7 Mcal
5	Crude Ash Ratio	10% ≤	8.67%
6	Sugar Ratio	8% ≤	4.12%
7	Starch Ratio	35% ≤	14.16%
8	Ether-extract (EE) Ratio	6% ≤	3.75%
9	Roughage Ratio	40% ≥	45.71%
10	Neutral Detergent Fiber (NDF) Ratio	25% >	48.04%
11	Amount of Calcium (Ca)	104.55 g	144.41 g
12	Amount of Phosphorus (P)	62.91 g	174.78 g

requirements for targeted milk productivity and the optimal results obtained with the GA. When the experimental results are compared, it is seen that the GA significantly meets zoo-technically expected nutrient requirements. Additionally, when the targeted amount of milk was increased, there was an increase in Ca and P requirements. When the amounts of Ca and P at the optimal result of the GA were evaluated according to the recommendations of NRC-2001 given in Eq. (5) and (6), it was seen that they were 40 g and 112 g more, respectively. In addition, with the increase in milk amount, DM, CP, ME, NEI requirements also increased. The feed ration solution found by GA is given in Table 10. When the feed ingredients and types are examined according to the test results, the feed ration containing the daily nutritional requirements of the animal; It is seen that a total of 17 different feed ingredients are used, including three types of roughage, nine types of concentrated feed and five types of minerals. The total weight in the feed ration is 22,02 kg and the feed cost is 134,77 TL. In the recommended feed ration solution, the roughages are mainly wheat straw and alfalfa, and the selected concentrated feeds are on average close to each other. Compared to the previous experiment, the total feed weight difference required for a five kg increase in the targeted milk amount is two kg.

Table 10. Feed ration prepared with the GA for 25 kg of milk with 3.5% fat at 600 kg BW.

#	Animal food ingredients	Type of nutrient	Amount (g)
1	Alfalfa	Roughage	3385
2	Corn silage	Roughage	2263
3	Wheat straw	Roughage	4417
4	Barley	Concentrate Feed	1379
5	Canola meal	Concentrate Feed	694
6	Corn gluten meal	Concentrate Feed	1066
7	Dried distillers grains (DDGs)	Concentrate Feed	1453
8	Cotton bagasse	Concentrate Feed	1007
9	Soybean hull	Concentrate Feed	1057
10	Soybean meal	Concentrate Feed	1664
11	Wheat bran	Concentrate Feed	1834
12	Wheat	Concentrate Feed	1374
13	Calcium Carbonate	Mineral	1
14	Monocalcium Phosphate (MCP)	Mineral	254
15	Dicalcium Phosphate (DCP)	Mineral	31
16	Sodium Chloride (NaCl)	Mineral	66
17	Sodium Bicarbonate (NaHCO ₃)	Mineral	71
Total Price:			134.77 TL
Total Feed Weight:			22.02 Kg

5. CONCLUSION AND DISCUSSION

In this paper, use of the GA in feed ration cost optimization in dairy cattle is discussed. Finding the feed ration ingredients with low-cost is goal of the optimization algorithm. Based on this, the developed model was coded in the MATLAB environment as an optimization problem with determined objective function and constraints. The performance of the model was tested with dairy cattle samples with a body weight of 450 and 600 Kg for 20 Kg milk with 3.5% fat. In three different experiments we have conducted, it has been observed that the expected values in NRC's nutrient requirements are largely compatible with the results found by the GA. Experimental results show that GA can be a useful tool for feed ration cost optimization. As a concrete example, the ration solution obtained with the GA for the yield of 20 kg milk (3.5% fat content) of cattle with a body weight of 600 kg costs 117.36 TL. The daily feed cost amount in the June 2023 Raw Milk Cost Table of the National Milk Council [35] is stated as 143.70 TL. Thanks to the proposed method, a feed ration with approximately 20% lower cost was prepared.

Table 11. Expected nutritional requirements and GA results for 20 kg of milk with 3.5% fat at 450 kg BW.

#	Nutrient requirements	Expected	GA	PSO	ACOR
1	Amount of Dry Matter (DM)	15.16 Kg	15.16 Kg	16.14 Kg	15.54 Kg
2	Crude Protein (CP)	2061.5 g	2884.85 g	2993.54 g	3712.6 g
3	Metabolic Energy (ME)	36.08 Mcal	45.85 Mcal	45.39 Mcal	47.61 Mcal
4	Net Energy (NEI)	21.8 Mcal	28.7 Mcal	29.09 Mcal	29.57 Mcal
5	Crude Ash Ratio	10% ≤	7.32%	6.93%	8.16%
6	Sugar Ratio	8% ≤	9.09%	3.25%	4.74%
7	Starch Ratio	35% ≤	22.29%	20.42%	10.8%
8	Ether-extract (EE) Ratio	6% ≤	2.58%	6.62%	1.92%
9	Roughage Ratio	40% ≥	48.78%	40.24%	67.18%
10	Neutral Detergent Fiber (NDF) Ratio	25% >	46.84%	43.5%	59.74%
11	Amount of Calcium (Ca)	82.43 g	69.4 g	125.02 g	121.65 g
12	Amount of Phosphorus (P)	49.47 g	70.81 g	77.34 g	65.47 g
Total Price:			103.57 TL	126.75 TL	107.42 TL
Total Feed Weight:			19.11 Kg	17.78 Kg	20.95 Kg

The results of the experimental studies were compared with Particle Swarm Optimization (PSO) and Ant Colony Optimization for Continuous Domains (ACO_R) algorithms, which are well known in the literature. Comparative results of the first, second and third experiments are given in Table 11, Table 12 and Table 13, respectively. While the proposed GA model found the lowest cost feed ration in the first and third experiments, the ACO_R algorithm achieved the best result in the second experiment.

Table 11 shows that the sugar content in the feed ration obtained by GA is 1.09% higher than expected, while the PSO algorithm contains 0.62% more Ether-extract. The ACO_R algorithm met all of the expected values. Table 12 shows that the Ether-extract content in the feed ration obtained by GA was 0.43% higher than expected. The PSO and ACO_R algorithms met all the expected values. In Table 13, all three optimization algorithms met all expected values.

Table 12. Expected nutritional requirements and GA results for 20 kg of milk with 3.5% fat at 600 kg BW.

#	Nutrient requirements	Expected	GA	PSO	ACO _R
1	Amount of Dry Matter (DM)	17.27 Kg	16.66 Kg	18.32 Kg	17.83 Kg
2	Crude Protein (CP)	2148.55 g	2689.09 g	3031.33 g	4430.95 g
3	Metabolic Energy (ME)	39.21 Mcal	47.84 Mcal	73.09 Mcal	52.92 Mcal
4	Net Energy (NEI)	23.68 Mcal	30.46 Mcal	46.72 Mcal	33.22 Mcal
5	Crude Ash Ratio	10% ≤	7.02%	5.76%	7.54%
6	Sugar Ratio	8% ≤	1.93%	7.96%	4.69%
7	Starch Ratio	35% ≤	20.38%	34.71%	10.52%
8	Ether-extract (EE) Ratio	6% ≤	6.43%	5.56%	4.06%
9	Roughage Ratio	40% ≥	47.18%	50.8%	62.15%
10	Neutral Detergent Fiber (NDF) Ratio	25% >	54.01%	50.55%	57.22%
11	Amount of Calcium (Ca)	88.5 g	126.39 g	134.61 g	113.14 g
12	Amount of Phosphorus (P)	53.76 g	93.61 g	83.36 g	71.18 g
Total Price:			117.36 TL	148.94 TL	116.79 TL
Total Feed Weight:			20.04 Kg	27.89 Kg	22.41 Kg

Those exceeding the expected value in the feed ration of optimization algorithms are negligible. Since the main focus here is on feed-cost, the highest penalty coefficient in the fitness function is applied to the total cost of feed. It is also possible to obtain different results by changing these coefficients.

As a result, the fitness function in the proposed model can be easily adapted to other metaheuristic methods. The results obtained can be used in the nutrition of dairy cattle to save on feed costs.

Table 13. Expected nutritional requirements and GA results for 25 kg of milk with 3.5% fat at 600 kg BW.

#	Nutrient requirements	Expected	GA	PSO	ACO _R
1	Amount of Dry Matter (DM)	18.86 Kg	18.74 Kg	19.95 Kg	19.61 Kg
2	Crude Protein (CP)	2573.55 g	4510.45 g	6872.56 g	5516.3 g
3	Metabolic Energy (ME)	44.99 Mcal	52.12 Mcal	62.72 Mcal	53.64 Mcal
4	Net Energy (NEI)	27.18 Mcal	32.7 Mcal	39.48 Mcal	33.73 Mcal
5	Crude Ash Ratio	10% ≤	8.67%	7.51%	7.89%
6	Sugar Ratio	8% ≤	4.12%	7.45%	4.43%
7	Starch Ratio	35% ≤	14.16%	7.06%	9.73%
8	Ether-extract (EE) Ratio	6% ≤	3.75%	2.41%	4.02%
9	Roughage Ratio	40% ≥	45.71%	54.41%	62.66%
10	Neutral Detergent Fiber (NDF) Ratio	25% >	48.04%	45.33%	46.41%
11	Amount of Calcium (Ca)	104.55 g	144.41 g	108.54 g	136.43 g
12	Amount of Phosphorus (P)	62.91 g	174.78 g	96.06 g	81.37 g
Total Price:			134.77 TL	180.23 TL	143.14 TL
Total Feed Weight:			22.02 Kg	24.75 Kg	22.22 Kg

Author's Contributions

Ertuğ ATICI contributed to the implementation of the research, analysis of the result, and writing, and Abdullah ELEN provided support for the coding part of the study and review of the manuscript.

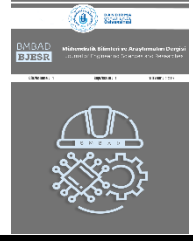
Statement of Conflict of Interest

The authors have declared no conflict of interest.

REFERENCES

- [1] L.P. Reynolds, M. C. Wulster-Radcliffe, D. K. Aaron and T. A. Davis, "Importance of animals in agricultural sustainability and food security", *The Journal of Nutrition*, vol. 145, no. 7, pp. 1377-1379, 2015.
- [2] M. Eastwood, "Principles of Human Nutrition, 2nd Edition", Wiley-Blackwell, 2013.
- [3] Türkiye Yem Sanayicileri Birliği, "Karma Yem Sanayi Raporu 2019", Poyraz Ofset Matbaacılık, Ankara, 2019.

- [4] F. Budak and F. Budak “Yem bitkilerinde kalite ve yem bitkileri kalitesini etkileyen faktörler”, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, vol. 7, no. 1, pp. 1-6, 2014.
- [5] A. Karabulut, M. Ergül, İ. Ak, H.R. Kutlu and A. Alçiçek “Karma yem endüstrisi”, *V. Türkiye Ziraat Mühendisliği Teknik Kongresi, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası*, pp. 985-1008, 2000.
- [6] T. Parlar and F. Koç “Toplam Rasyon Karışımı Kullanılan Bir Süt Sığırtı İşletmesinin Besleme Açısından Değerlendirilmesi”, *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, vol. 3, no. 1, pp. 24-32, 2020.
- [7] M. Boğa, and K.K. Çevik “Ruminant hayvanlar için karma yem hazırlama programı”, *XIV. Akademik Bilişim Konferansı (Akademik Bilişim’12)*, Uşak Üniversitesi, pp. 249-256, 2012.
- [8] A. Bellingieri, A. Gallo, D. Liang, F. Masoero and V. E. Cabrera, “Development of a linear programming model for the optimal allocation of nutritional resources in a dairy herd”, *Journal of dairy science*, vol. 103, no. 11, pp. 10898-10916, 2020.
- [9] V. Patil, R. Gupta, R. Duraisamy et al. “Dairy cattle nutrition and feed calculator-an android application”, *Tropical Animal Health and Production*, vol. 53, no. 2, p. 315, 2021.
- [10] V.N. Wijayaningrum and W. F. Mahmudy “Fodder composition optimization using modified genetic algorithm”. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEEI)*, vol. 7, no. 1, pp. 68-75, 2019.
- [11] R.S. Kuntal, R. Gupta, D. Rajendran and V. Patil “Livestock Ration Formulation for Dairy Cattle and Buffalo”, *CRC Press, Boca Raton*, 2022.
- [12] T.N. Fatyanosa, W. F. Mahmudy “Hybrid Modified Evolution Strategies and Linear Programming for Beef Cattle Feed Optimization”, *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, vol. 11, no. 1, pp. 223-235, 2019.
- [13] M. Milani and B. Milani “Meta-Sezgisel Optimizasyon Yöntemlerine Dayalı bir Rasyon Hazırlama Modeli”, *Electronic Letters on Science and Engineering*, vol. 18, no. 2, pp. 97-104, 2022.
- [14] A. Elen, “A Complete Solution to Exam Scheduling Problem: A Case Study”, *Journal of Scientific Reports-A*, vol. 49, pp. 12-34, 2022.
- [15] A. Elen and İ. Çayıroğlu, “Solving of Scheduling Problem with Heuristic Optimization Approach”, *Technology (Engineering Science and Technology, an International Journal)*, vol. 13, no. 3, pp. 159-172, 2010.
- [16] M.A. Şahman, M. Çunkas, Ş. İnal, F. İnal, B. Coşkun and U. Taşkıran, “Cost optimization of feed mixes by genetic algorithms”, *Advanced Engineering Software*, vol. 40, no. 10, pp. 965-974, 2009.
- [17] P. Guo and L. Zhang, “Automatic feed formulation method based on Differential Evolution algorithm for precision feeding of dairy cows”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 768, no. 7, IOP Publishing, 2020.
- [18] H. Jayadianti, N.H. Cahyana, W.G. Kusuma, A. H. Pratomo, “Hybrid genetic algorithm and simulated annealing for the selection of web-based beef cattle feed composition”, *6th International Conference on Science in Information Technology (ICSITech)*, Palu, Indonesia, pp. 189-193, 2020.
- [19] L. Hassani, M. Daneshvar-kakhki, M. Sabouhi-sabouni and R. Ghanbari, “The optimization of resilience and sustainability using mathematical programming models and metaheuristic algorithms”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 228, pp. 1062-1072, 2019.
- [20] D. D. Uyeh, T. Pamulapati, R. Mallipeddi, T. Park, S. Asem-Hiablie, S. Woo, J. Kim, Y. Kim and Y. Ha, “Precision animal feed formulation: An evolutionary multi-objective approach”, *Animal Feed Science and Technology*, vol. 256, no. 114211, 2019.
- [21] R.S. Kuntal, R. Gupta, D. Rajendran and V. Patil, “Goal Programming Model to find least Cost Ration for Non-pregnant Dairy Buffaloes: An Alternative Approach”. *Int. Journal of Tropical Agriculture*, vol. 36, no. 3, pp. 823-826, 2018.
- [22] R. Das, K.N. Das and S. Mallik, “An efficient evolutionary optimizer for solving complex dairy feed optimization problems”, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 204, no. 107566, 2023.
- [23] A. Sammad, Y. J. Wang, S. Umer, H. Lirong, I. Khan, A. Khan, B. Ahmad and Y. Wang, “Nutritional Physiology and Biochemistry of Dairy Cattle under the Influence of Heat Stress: Consequences and Opportunities”, *Animals*, vol. 10, no. 5, 2020.
- [24] E. Humer, R.M. Petri, J.R. Aschenbach, B. J. Bradford, G.B. Penner, M. Tafaj, K.H. Südekum and Q. Zebeli, “Invited review: Practical feeding management recommendations to mitigate the risk of subacute ruminal acidosis in dairy cattle”, *Journal of dairy science*, vol. 101, no. 2, pp. 872-888, 2018.
- [25] A. Berman, “Invited review: Are adaptations present to support dairy cattle productivity in warm climates?”, *Journal of dairy science*, vol. 94, no. 5, pp. 2147-2158, 2011.
- [26] K. Garamu, “Significance of feed supplementation on milk yield and milk composition of dairy cow”, *Journal of Dairy and Veterinary Sciences*, vol. 13, no. 2, pp. 1-9, 2019.
- [27] National Research Council, “Nutrient requirements of dairy cattle: Seventh Revised Edition, 2001”, *National Academies Press*, 2001.
- [28] E.B. Rayburn and D.G. Fox, “Variation in neutral detergent fiber intake of Holstein cows”, *Journal of Dairy Science*, vol. 76, no. 2, pp. 544-554, 1993.
- [29] D.K. Roseler, D.G. Fox, L.E. Chase, A. N. Pell and W.C. Stone, “Development and evaluation of equations for the prediction of feed intake for lactating Holstein dairy cows”, *Journal of Dairy Science*, vol. 80, pp. 681-691, 1997.
- [30] J. Linn, “Energy in the 2001 dairy NRC: Understanding the system”, *Minnesota Dairy Health Conference, College of Veterinary Medicine*, pp. 102-110, 2003.
- [31] National Research Council, “Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th Rev. Ed.”, *National Academy of Sciences, Washington, D.C.*, 1989.
- [32] P.S. Erickson and K.F. Kalscheur, “Nutrition and feeding of dairy cattle”, *Animal Agriculture*, pp. 157-180, 2020.
- [33] M. Görgülü, “Büyük ve Küçükbaş Hayvan Besleme”, *Çukurova Üniversitesi Yayınları*, 224, Adana, pp. 26-61, 2002.
- [34] C.R. Staples and F.M. Cullens, “Implications of fat-feeding practices for lactating dairy cows – effects on milk fat”, *Advances in Dairy Technology*, vol. 17, pp. 277-295, 2005.
- [35] <https://ulusalsutkonseyi.org.tr/wp-content/uploads/HAZIRAN-2023-MALIYET.pdf> (Erişim Tarihi:13.06.2023)



Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile GTZAN Veri Kümesine Ait Müzik Türlerinin Sınıflandırılması

Classification of Music Genres of GTZAN Dataset with Machine Learning Methods

¹Mehmet Cüneyt ÖZBALCI , ²Hasan ŞAHİN , ³Turgay Tugay BİLGİN 

^{1,2,3}Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yıldırım/Bursa, Türkiye

mehmet.ozbalci@btu.edu.tr, hasan.sahin@btu.edu.tr, turgay.bilgin@btu.edu.tr [Araştırma Makalesi/Research Article](#)

ARTICLE INFO

Article history

Received : 13 February 2024

Accepted : 21 March 2024

Keywords:

Random Forest, Artificial Neural Network, Support Vector Machines, Music Classification

ABSTRACT

Over time, the field of computer science research on music has substantial growth. Music analytic techniques and digital transformation have made music classification more useful. The categorization procedure in this study utilizes the numerical values obtained from the audio signal. The GTZAN dataset is utilized to classify music genres based on a wide range of factors. The classification approaches used were Random Forest (RF), Support Vector Machines (SVM), and Artificial Neural Networks (ANN). The study investigated the performance of these widely-used algorithms in the field of music categorization using the GTZAN dataset, which is commonly used in research. The RF algorithm achieved an accuracy rate of 81%, while the SVM algorithm achieved an accuracy rate of 72.33%, and the ANN algorithm achieved an accuracy rate of 67.67%. This study proved the efficacy of the RF approach in accurately categorizing music by utilizing audio signal-derived attributes.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 13 Şubat 2024

Kabul : 21 Mart 2024

Anahtar Kelimeler:

Rastgele Orman, Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri, Müzik Sınıflandırma

ÖZET

Zaman içerisinde müzik, bilgisayar bilimleri için önemli ölçüde gelişme göstermiştir. Müzikte analiz teknikleri ve dijital dönüşüm müzik sınıflandırmasını kullanışlı hale getirmiştir. Bu çalışmada ses sinyalinden elde edilen sayısal değerler ile sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Müzik türlerini sınıflandırmak için oldukça çeşitli öznelikler içeren GTZAN veri kümesi kullanılmıştır. Sınıflandırma algoritmaları olarak Rastgele Orman (RF), Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılmıştır. Müzik sınıflandırmada oldukça popüler olan bu algoritmaların literatürde sıklıkla kullanılan bir veri kümesi olan GTZAN ile birlikte nasıl sonuçlar vereceği gözlemlenmiştir. Bu algoritmalarla elde edilen doğruluk oranları RF için %81, SVM için %72,33 ve YSA için %67,67 olarak elde edilmiştir. Yapılan çalışmada müzik sınıflandırmada, ses sinyallerinden elde edilen öznelikler ile RF algoritmasının oldukça başarılı sonuçlar üretebileceği gösterilmiştir.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Müzik, insanların duygularını yansıtan etkili bir sanattır. Armonik notalar ile anlam kazanan müzik temelde zaman ve frekans bilgisinin ön plana çıktığı, çok çeşitli karmaşık bileşenlerden oluşan bir ses sinyalidir [1]. Farklı ulusların ve toplulukların kendi müzik kültürlerine sahip olması, müziği kategorize etme zorluğunu ortaya çıkarmıştır. Müzik kategorizasyonu algısal bir eylemdir. Yapay zekâ alanındaki teknolojiler, müzikte insan algısına en yakın performansı göstererek gelişmektedir. Müziğin hemen her bireyin hayatında önemli bir yere sahip olduğu düşünüldüğünde, yapay zekânın birçok farklı disiplinde olduğu gibi müzikte de önemli bir çalışma alanı olduğu açıktır [2].

Yapay zekâ ve makine öğrenmesi, müzikte iki temel alanda kullanılmaktadır: müzik sentezi ve müzik analizi. Müzik sentezi müzik üretimini ifade ederken, müzik analizi mevcut müzik verilerinin işlenerek müziğe dair bilgilerin değerlendirilmesi ve anlamlı sonuçlar elde edilmesine dayanır. Müzik analizi, duygu analizi, enstrüman analizi, söz analizi, tını analizi ve melodi analizi gibi çalışma alanlarını içerir. Müzik sınıflandırmasında, sınıflandırılacak unsura bağlı olarak birçok parametre devreye girebilir. Bu parametreler tını, melodi, söz, tempo, perde, akor gibi özellikleri içerebilir. Duygu, enstrüman, tını, sanatçı ve perde bilgisine göre sınıflandırma çalışmaları günümüzde de devam etmektedir. Müzik sınıflandırmada çeşitli derin öğrenme ve makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmaktadır. Bu algoritmalar ön plana çıkan SVM, ANN, K-NN, RNN ve LSTM gibi algoritmalar başarıyla kullanılmıştır. Optimum sonucun elde edilmesi belirlenecek olan sınıflandırma algoritmasına ve seçilecek olan parametrelere bağlıdır. Ses sinyalinden elde edilen özelliklerin müzik sınıflandırmasında sıkça kullanıldığı görülmektedir. Bu özellikler müzik ve ses analizinde insan kulağının algısal özelliklerini başarılı bir şekilde yansıttıkları için tercih edilir.

Ses sinyalinin kalitesini artırmak ve en yüksek verimi elde etmek için çeşitli filtreleme ve vurgulama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları; alçak geçiren filtre, yüksek geçiren filtre, IIR (sonsuz dürtü yanıtı) filtresi, FIR (sonlu dürtü yanıtı) filtresi ve Mel filtre bankası olarak görülmektedir. Bu yöntemler çeşitli matematiksel işlemleri içermektedir. Alçak geçiren filtre, belirli bir Hz (Hertz) değerinin üstündeki sinyalleri susturmaktadır. Genlik değerinin azaltılması ile bu işlem gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem dış ortam seslerinin yalıtılmasında etkilidir [3]. Yüksek geçiren filtre, düşük frekanstaki sapsmaların optimize edilmesinde kullanılmaktadır. IIR ve FIR filtrelerde, filtre mertebesi belirlenip giriş sinyaline bağlı olarak bir çıkış sinyali elde edilmektedir. IIR filtresinin FIR filtresinden temel farkı özyinelemeli bir yapıda olmasıdır. Mel filtre bankasında ses, genlik ve frekans bilgileri kullanılarak işlenir. Konuşma tanımada etkili bir yöntemdir [4].

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Müzik sınıflandırması ve yapay zekâ arasındaki ilişki, son yıllarda giderek artan bir ilgi görmektedir. Müzik, insan duygularını ifade eden güçlü bir sanat formu olduğundan, yapay zekâ tekniklerinin müzik analizi ve sınıflandırmasında kullanılması, müzik endüstrisinde ve müzik dinleme deneyiminde önemli etkiler yaratabilir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, müzik sınıflandırmasında yapay zekâ ve makine öğrenmesi tekniklerinin çeşitli uygulamalarının olduğu görülmektedir. Bu uygulamalar arasında farklı özniteliklerin kullanılması, farklı sınıflandırma algoritmalarının karşılaştırılması ve farklı müzik türlerinin tanımlanması gibi konular bulunmaktadır.

Örneğin yapılan bir çalışmada, derin öğrenme yöntemlerinin müzikal duyguların sınıflandırılmasında etkili olduğu gösterilmiştir. Bu çalışma, müzikal duyguların tanımlanması ve analiz edilmesi üzerine odaklanarak müzikal özniteliklerin derin öğrenme algoritmalarıyla ilişkilendirilmesini incelemiştir. Bununla birlikte müzik sınıflandırmasında kullanılan özniteliklerin belirlenmesi ve sınıflandırma algoritmalarının seçimi gibi konularda hala bazı zorluklar bulunmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için farklı yaklaşımların ve yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Genel olarak literatürdeki çalışmaların incelenmesi, müzik sınıflandırması ve yapay zekâ alanında yapılan araştırmaların mevcut durumunu anlamamıza ve gelecekteki çalışmalar için ilham alabileceğimiz fikirler sunmamıza yardımcı olur. Bu nedenle bu alandaki literatürü dikkatle incelemek, araştırmanın temelini oluştururken önemlidir.

Lojistik regresyon, K-NN, SVM, RF, YSA ve Naive Bayes yöntemleri ile gerçekleştirilen müzik sınıflandırma çalışmasında GTZAN veri seti kullanılmıştır. Çeşitli eğitim zamanı ve hiper-parametre kombinasyonları ile elde edilen en yüksek doğruluk oranları sırasıyla lojistik regresyon için %81, K-NN için %92,69, SVM için %80,80, RF için %80,28 ve Naive Bayes için %54,50 olarak görülmüştür [5]. Veri seti ön işlemeden geçtikten sonra GTZAN veri setine ilk olarak boyut azaltma teknikleri uygulanmış ardından lojistik regresyon, RF, K-NN, SVM ve YSA sınıflandırma yöntemleri uygulanmıştır. En yüksek doğruluk oranları sırasıyla lojistik regresyon ile %67,56, RF ile %77,41, K-NN ile %72,07, SVM ile %74,17 ve YSA ile %75,17 olarak elde edilmiştir [6]. GTZAN veri seti ile verilerin ön işlenmesi gerçekleştirilmiş ardından çeşitli sınıflandırma algoritmaları ile müzik türü sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Kullanılan sınıflandırma algoritmaları ve bu algoritmaların doğruluk oranları sırasıyla YSA için %70, SVM için %68,90, Çok Katmanlı Algılayıcılar için %68,70, Karar Ağaçları için %74,30 ve CNN için %91 olarak gözlemlenmiştir [7]. Spotify'dan elde edilen veri kümesi ile gerçekleştirilen müzik sınıflandırmasında verilerin ön işlenerek sınıflandırmaya hazır hale getirilmiştir. Filtreleme yöntemleri ile öznitelik seçimi işlemi gerçekleştirilmiştir. K-NN, RF ve lojistik regresyon ile gerçekleştirilen sınıflandırmada en

yüksek doğruluk oranları sırasıyla K-NN ile %95,5, RF ile %96,3, lojistik regresyon ile %95,5 olarak elde edilmiştir [8]. Dört farklı kategoride müzik sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. MFCCs özellikleri öznitelik olarak seçilmiştir. 400 ses dosyasının her birinin 60 saniyelik kısımları kırılarak DNN algoritması ile başarılı bir sonuç elde edilmiştir. Veri seti olarak özgün bir veri seti kullanılmış olup %98,8 doğruluk oranı elde edilmiştir [9]. 16 bar MIDI dosyaları elde edilip 3 farklı model uygulanmıştır. Modeller: çift yönlü uzun kısa süreli bellek (BiLSTM), çarpımsal uzun kısa süreli bellek (mLSTM) ve tekrarlayan kapı birimi (GRU) modelleridir. Modellerin performansları birbirine yakın seviyede görülmüştür. Veri seti Wikifonia'dan elde edilen melodili müziklerle oluşturulmuştur. 1,0 AUC değeri yakalanmıştır [10]. Uygulanan Co-MRMR algoritması; MRMR ve Rasco algoritmalarının tümleştirilmesi ile elde edilmiş olup öznitelikler Databionic Music Miner ve MARYSAS yazılımları kullanılarak elde edilmiştir. Veri seti olarak özgün bir veri seti oluşturulup kullanılmıştır. %77,8 doğruluk oranına ulaşılabilmektedir [11]. MFCC'ler ile heat map'ler elde edilip bu map'lerden duyguya göre, enstrümana göre, cinsiyete göre, tempoya göre, türe göre ve çeşitli parametrelere göre sınıflandırma yapılmıştır. Veri seti olarak MagnaTagATune ve Million Song Dataset kullanılmıştır. Self-attention based deep sequence ve CNN algoritmaları kullanılmış olup %90,8 AUROC değeri elde edilebilmiştir [12]. Boyut indirgeme için PCA kullanılmış ve bunun yanı sıra tSNE ve MDS teknikleriyle renklere ayrıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir (mavi, mor, yeşil ve sarı). Daha sonra renkler ile sınıflandırma yapılmıştır. Özgün bir veri seti oluşturulup kullanılmıştır. Random forest, C4.5, k-star, naive bayes, simple logistic regression, multilayer perceptron, SVM ve AdaBoost algoritmaları kullanılmış olup %72 doğruluk oranı elde edilebilmiştir [13]. Dijital ses sinyalinin işlenerek ilk olarak görüntü elde etme daha sonra ise görüntüyü parçalarına ayırma işlemi uygulanmıştır. Ses verilerinin işlenmesinde; gürültü ekleme, perde kaydırma, ses yüksekliği değişimi ve zaman uzatma gibi teknikler uygulanmıştır. Yalnızca CNN'ye dayalı yaklaşımla ve tek tonlu perde kaydırma ile en yüksek başarımla elde edilmiştir. Veri seti olarak LMD (Latin Müzik Veritabanı) kullanılmıştır. %89,45 doğruluk oranı elde edilebilmiştir [14]. GTZAN veri seti ile müziklerden veri ön işleme ile çeşitli renkli görüntüler elde edilmiştir. Ardından bu görüntüler ile CNN kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. %60 doğruluk oranı elde edilebilmiştir [15]. Özgün bir veri seti oluşturulup öznitelik olarak MFCCs kullanılmıştır. Pop, rock ve klasik olmak üzere 3 farklı türe müzik sınıflandırması yapılmıştır. SVM algoritması ile yapılan çalışmada farklı çekirdek fonksiyonlarının başarımları incelenerek kıyaslanmıştır. %91 doğruluk elde edilebilmiştir [16]. MIDI türünde veriler ile duyguya göre müzik sınıflandırması yapılmıştır. Duygu belirleme hususundaki deneyler lisans düzeyindeki öğrencilerle yapılmıştır. 3 farklı algoritmanın sonuçları bulunarak karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilmiştir. Youtube'dan elde edilen veriler ile RNN, FNN, Geliştirilmiş FNN ile gerçekleştirilen çalışmada %75,4 doğruluk oranı elde edilebilmiştir [17]. GTZAN veri seti ile MFCCs özniteliği kullanılarak 10 farklı türe müzik sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. CNN algoritması ile gerçekleştirilen çalışmada %76 doğruluk oranı elde edilmiştir [18].

3. MATERYAL VE METOTLAR

3.1. Knime Aracı

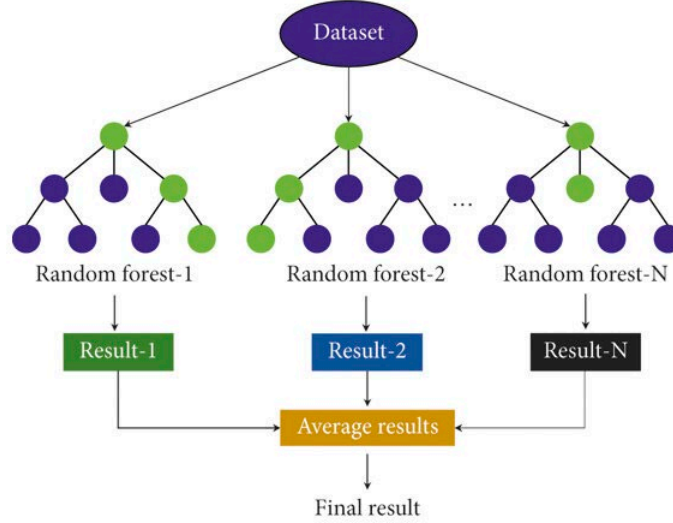
Açık kaynak kodlu bir yazılım olan KNIME veri biliminde yaygın olarak kullanılan bir platformdur. Bu program ile birçok veri işleme tekniği uygulanabilmektedir. Regresyon analizi, sınıflandırma, istatistiksel değerlendirme gibi işlemler düğümle vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. KNIME birçok algoritma için algoritmanın en yakın hali ile kullanılmasına olanak sağlayan bir arayüzdür. Kullanıcıyı kod karmaşasından uzaklaştırmak gibi bir imkân sunar. KNIME'da birçok dosya türü okunabilmektedir. Bunun için çeşitli modüller mevcuttur. Veri analizinde çeşitli modüller yardımıyla detaylı bir şekilde hem veriler ön işlenebilmekte hem de üretilen sonuçlar çeşitli görseller ve grafiklerle analiz edilebilmektedir. Verilerin ön işlenmesi süreci modüller yardımıyla detaylı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

3.2. Veri Kümesi

GTZAN veri kümesindeki tüm parçalar 30 saniyelik kesitlerden oluşmaktadır. Veri kümesi farklı türde müziklerden oluşmaktadır. Bu türler sırasıyla blues, classical, country, disco, hiphop, jazz, metal, pop, reggae ve rock türleridir. GTZAN veri kümesi, müzik türlerinin sınıflandırılması için yaygın olarak kullanılan bir veri kümesidir, ancak bazı kısıtlamaları vardır. Örneğin, veri kümesi yalnızca 10 müzik türünü içermekte, her türden 100 parça bulunmakta ve her parça 30 saniyelik bir kesittir. Bu nedenle, daha fazla müzik türü, daha fazla parça ve daha uzun süreli kesitler içeren farklı veri kümeleri kullanmak, sınıflandırma performansını artırabilecektir. Müziklerin sinyallerinden elde edilen birçok özellik mevcuttur. Bunlardan başlıcası ve en belirleyici olanı MFCCs özelliğidir. Veri kümesinde bu bilgilere ek olarak müzik sinyallerinden elde edilmiş görüntüler de mevcuttur. Veri kümesinin boyutu yaklaşık olarak 1,35 gigabyte civarındadır. Veri kümesindeki öznitelik sayısı 57'dir. Bu öznitelikler sırasıyla chroma_stft, rms, spectral_centroid, spectral_bandwidth, rolloff, zero crossing rate, harmony, perceptr, tempo ve MFCCs (Mel Frekans Kepstral Katsayıları) olarak belirlenmiştir. Bu özniteliklerden tempo haricindeki tüm öznitelikler için hem ortalama hem varyans bilgileri mevcuttur. Tempo için ise yalnızca 1 sayısal değer mevcuttur. Ayrıca MFCCs özniteliği için 20 vektörlü bir hesaplama yapılmıştır.

3.3. Rastgele Orman

Rastgele orman algoritması, esnek bir makine öğrenmesi algoritmasıdır ve çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerine çözümler sunabilir. Rastgele orman, karar ağaçlarının geliştirilmiş bir türüdür ve bölütleme işlemi rastgele olarak gerçekleştirilir. Amacı, en uygun dalları bulmak ve bu dallara dayanarak alt dallara geçmektir [19-20]. Rastgele orman algoritması, topluluk öğrenme algoritmalarından biridir. Topluluk öğrenme yöntemlerinde, modellerin birleştirilmesiyle performansın artırılması hedeflenir. Rastgele orman algoritması, sürekli ve sürekli olmayan değişkenlerin bir arada kullanılmasına izin verir. Ayrıca büyük boyutlu veri setlerinde etkili bir şekilde kullanılabilir [21]. Rastgele orman algoritmasının işleyiş mantığı aşağıdaki şekilde verilmiştir.

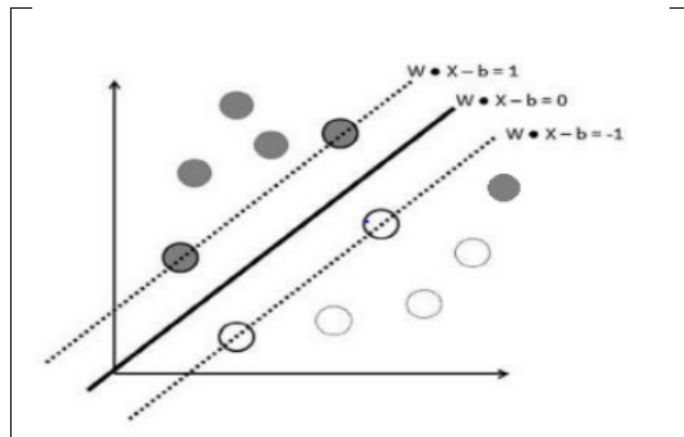


Şekil 1. Rastgele Orman Algoritmasının uygulanması [22].

Ağaç tabanlı ve özyinelemeli bir algoritma olan Rastgele Orman, önceden belirlenmiş bir durdurma koşulu karşılancaya kadar belirli bir kriterle dayalı olarak verilen veri kümesini özyinelemeli olarak iki gruba ayırmayı içermektedir [23]. Birçok sınıflandırma ve regresyon probleminde başarılı sonuçlar veren rastgele orman algoritması, müzik alanında da iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

3.4. Destek Vektör Makineleri

Destek vektör makineleri, sınıflandırma için etkili bir yöntemdir ve genellikle başarılı sonuçlar verir. Bu yöntem, bir veya daha fazla özellik vektörü kullanarak etiketleri tahmin etmeye yardımcı olur. Sınıflandırma işlemi, sınıflar arasında bir karar sınırı oluşturarak gerçekleştirilir [24]. Radyal tabanlı çekirdek, lineer çekirdek ve polinomal çekirdek olmak üzere üç yaygın olarak kullanılan çekirdek fonksiyonu bulunur. Veri ön işleme ve benzer işlemler, başarı için büyük öneme sahiptir ve seçilen çekirdek fonksiyonu da büyük ölçüde başarıyı etkiler. Genellikle ideal çekirdek fonksiyonun seçimi, tüm çekirdek fonksiyonlarını deneyerek belirlenir.

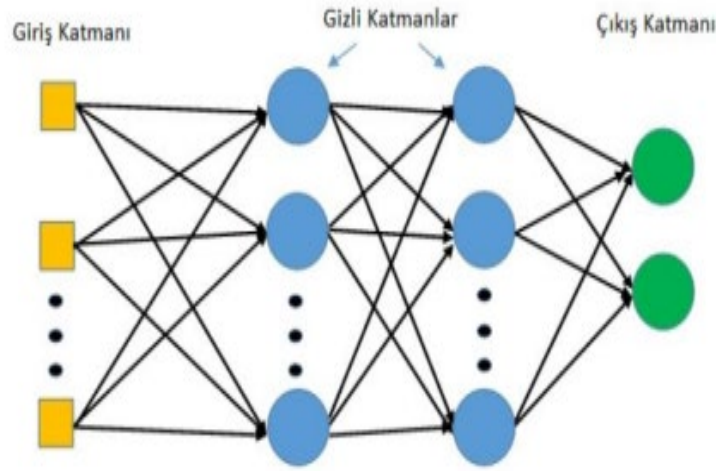


Şekil 2. SVM algoritmasında hiper düzlemler [25].

Verilerin sınıflandırılması, hiper düzlemler aracılığıyla gerçekleştirilir. En iyi ayırıcı, ideal hiper düzlem olarak kabul edilebilir. Hiper düzlemler arasındaki mesafe, marjin olarak adlandırılır. SVM algoritmasında, öğrenme aşamasındaki işlem sayısının az olması, performansa olumlu etki eder. SVM algoritması doğrusal SVM ve doğrusal olmayan SVM olarak ikiye ayrılır [26]. Doğrusal olmayan SVM daha çok, veri kümelerinin karmaşık ve verilerin ayırt edilmesi zor olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Doğrusal olmayan SVM algoritmasında çizilecek olan hiper düzlem doğrusal olmayıp optimum sonucu elde edebilecek biçimde çeşitli şekillerde olabilmektedir.

3.5. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin işleyiş mantığını taklit eden bir algoritmadır. Nöronlar arasındaki iletişim benzer şekilde bu algorithmada uygulanmaktadır. Nöronlar girdi, çıktı ve gizli katman olmak üzere 3 katmandan oluşmaktadır [27]. Bir YSA, yapay nöronlardan oluşan bir grup düğümlerden oluşmaktadır. Sinapslar arasındaki bağlantıya benzer şekilde, nöronlar arası sinyal aktarımı söz konusudur. Sinyali alan nöron, gerek işlem yaparken gerekse iletişime geçerek sinyal ulaştırabilmektedir [28]. Bu algoritma sınıflandırmada oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. YSA'nın işleyiş yapısı aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 3. YSA katmanlar arası yapısal ilişki [29].

Giriş katmanındaki veriler gizli katmanlara iletilerek işlenilip nihai olarak çıkış katmanına aktararak sonuç elde edilmektedir. YSA'da eğitim için ayrılan veriler ve test için ayrılan verilerin miktarı elde edilecek sonuçların başarımı açısından ciddi önem arz etmektedir [30]. Daha yüksek veri hacmi birçok durumda daha olumlu sonuçları beraberinde getirecektir.

3.6. Başarım Ölçütleri

Gerçekleştirilen çalışmada 10 farklı sınıf için 5 ayrı metrik hesaplanmıştır. Hesaplanan metrikler accuary (doğruluk), hassasiyet (recall), kesinlik (precision), özgünlük (specifity), F1 Skor (F1 Score) metrikleridir. Metriklerin hesaplanması, TP (True Positive), TN (True Negative), FP (False Positive) ve FN (False Positive) değerleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu metriklerin her biri farklı şekillerde; TP, TN, FP, FN değerlerinin ne kadar tutarlı bir şekilde ölçüldüğü hakkında bilgi vermektedir [31]. Bu başarımler metriklerinin üreteceği sonuçlar, sınıflar arasındaki ilişkiler hakkında da fikir verici olmaktadır [32-33].

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

$$\text{Hassasiyet} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (3)$$

$$\text{Özgünlük} = \frac{TN}{TP+FN} \quad (4)$$

$$\text{F1 Skor} = \frac{2 * \text{Hassasiyet} * \text{Kesinlik}}{\text{Hassasiyet} + \text{Kesinlik}} \quad (5)$$

4. BULGULAR

Bu çalışmada, GTZAN veri kümesi kullanılarak 10 farklı müzik türünün sınıflandırılması için çeşitli öznelik kombinasyonları deneyerek üç farklı algoritma uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, RF algoritması %81

doğruluk oranı ile en yüksek başarıma ulaşmıştır. SVM algoritması %72,33, YSA algoritması ise %67,66 doğruluk oranı ile diğer algoritmalarından daha düşük bir performans göstermiştir. Özniteliklerin seçimi, sınıflandırma başarısını önemli ölçüde etkilemiştir. Her bir algoritma için farklı optimum öznitelik kümesi belirlenmiştir. Müzik sinyallerinden elde edilen özniteliklerin sınıflandırmaya olan katkısı gözlemlenmiştir. Klasik müzik türü, tüm algoritmalarda en yüksek sınıflandırma başarımına sahip olmuştur. Rock müzik türü ise tüm algoritmalarda en düşük sınıflandırma başarımına sahip olmuştur.

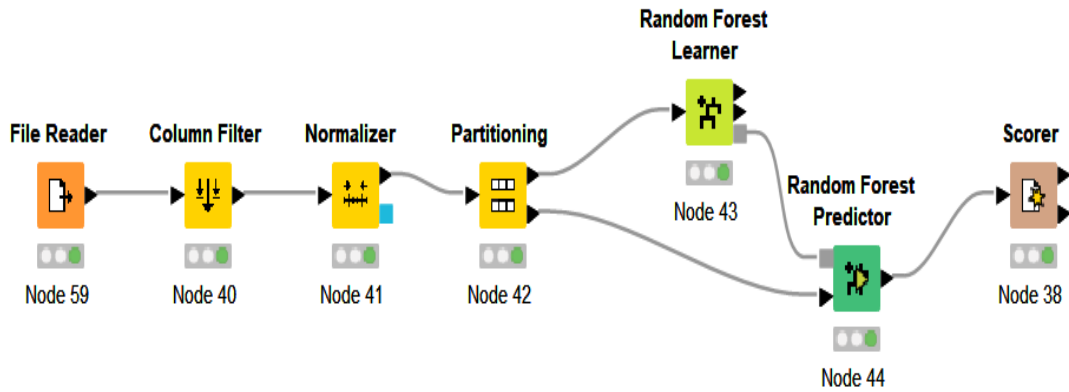
Öznitelik seçimi, sınıflandırma başarımını etkileyen önemli bir faktördür. Bu çalışmada, ses karakteristik özellikleri arasından en uygun olanlarının seçilmesi için çeşitli kombinasyonlar denemiştir. Çeşitli öznitelikler arasında en belirleyici olanının MFCC özniteliği olarak görülmüştür.

Sınıflandırılan müzik türleri arasında, klasik müzik türüne ait sonuçlar diğer türlere göre daha yüksek olmuştur. Bu durumun, klasik müziğin diğer müzik türlerinden daha belirgin ve ayırt edici özelliklere sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Rock müzik türü ise en düşük sonuçlar elde edilen tür olmuştur. Bu durumun ise rock müziğin diğer müzik türleriyle karıştırılmasına neden olan benzerlikler içermesinden dolayı olduğu düşünülmektedir. Bu çalışma, GTZAN veri kümesi ile müzik türlerini sınıflandırmak için üç farklı makine öğrenmesi algoritması (RF, SVM ve YSA) kullanmıştır. Bu konularda çalışma yapmayı planlayan araştırmacılara şu konu başlıklarına yönelik çalışmaları önerilebilir: GTZAN veri kümesi, müzik türlerinin sınıflandırılması için yaygın olarak kullanılan bir veri kümesidir, ancak bazı kısıtlamaları vardır. Örneğin, veri kümesi yalnızca 10 müzik türünü içermekte, her türden 100 parça bulunmakta ve her parça 30 saniyelik bir kesittir. Bu nedenle, daha fazla müzik türü, daha fazla parça ve daha uzun süreli kesitler içeren farklı veri kümeleri kullanmak, sınıflandırma performansını ve genelleştirebilme gücünü artırabilecektir. Bu çalışmada, müzik sinyallerinden elde edilen 57 öznitelik kullanılmıştır. Ancak bu özniteliklerin hepsi sınıflandırma için eşit derecede önemli veya uygun olmayabilir. Bazı öznitelikler gürültü, aykırı korelasyon veya çok boyutluluk gibi sorunlara neden olabilmektedir. Bu nedenle, farklı öznitelik seçim veya çıkarma yöntemleri kullanmak sınıflandırma için en uygun öznitelik kümesini belirlemeye yardımcı olabilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan algoritmaların her biri farklı parametreler veya hiper-parametreler gerektirir. Bu parametrelerin değerleri, sınıflandırma sonucunu etkileyebilir. Bu nedenle, farklı algoritmalar veya parametreler denemek, sınıflandırma için en uygun modeli bulmaya yardımcı olacaktır.

4.1. Rastgele Orman ile Elde Edilen Sonuçlar

Sınıflandırıcı olarak Rastgele Orman seçildiği durum için ilk olarak veri kümesine min-max normalizasyonu uygulanmıştır. Ardından veri kümesi, eğitim için %70 test için ise %30 olacak şekilde ayrılmıştır. Daha sonra rastgele orman algoritması uygulanarak sınıflandırmanın işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen başarımlar diğer algoritmalarla kıyasla daha yüksektir. Tüm sınıflar için elde edilen başarımların sonuçları ve akış diyagramları aşağıda detaylarıyla verilmiştir.



Şekil 4. KNIME ile RF algoritmasının uygulanması.

RF algoritması ile gerçekleştirilen sınıflandırmada, spektral özniteliklerden yalnızca spectral_centroid özniteliği değerlendirilecek öznitelik kümesinden çıkarıldığı durumda en yüksek başarımlar elde edilmiştir. Elde edilen doğruluk oranı %81 olarak görülmüştür.

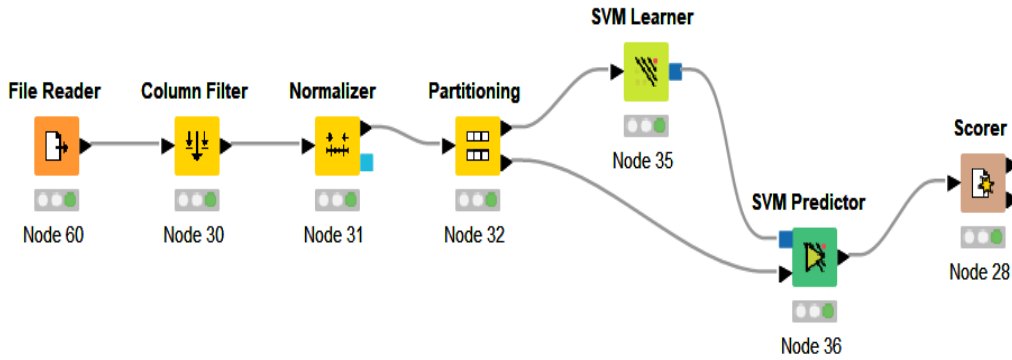
RF ile elde edilen başarımların sonuçlarına bakıldığında, klasik müzik türüne ait sonuçlar oldukça yüksektir. Rock müzik türünde ise en düşük değerler elde edilmiştir.

Tablo 1. RF ile başarımların sonuçları.

Metrikler					
Türler	Recall	Precision	Sensitivity	Specificity	F1-Score
blues	0,81	0,71	0,81	0,97	0,76
classical	0,91	0,95	0,91	0,99	0,93
country	0,69	0,78	0,69	0,97	0,74
disco	0,91	0,81	0,91	0,97	0,85
hiphop	0,83	0,79	0,83	0,98	0,81
jazz	0,81	0,83	0,81	0,98	0,82
metal	0,96	0,86	0,96	0,99	0,91
pop	0,88	0,81	0,88	0,97	0,85
reggae	0,75	0,87	0,75	0,98	0,81
Rock	0,64	0,72	0,64	0,97	0,68

4.2. SVM ile Elde Edilen Sonuçlar

Sınıflandırıcı olarak SVM seçildiği durum için ilk olarak veri kümesine min-max normalizasyonu uygulanmıştır. Ardından veri kümesi, eğitim için %70 test için ise %30 olacak şekilde ayrılmıştır. Daha sonra SVM algoritması uygulanarak sınıflandırmanın işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm sınıflar için elde edilen başarımların sonuçları ve akış diyagramları aşağıda detaylarıyla verilmiştir.

**Şekil 5.** KNIME ile SVM algoritmasının uygulanması.

SVM ile uygulanan sınıflandırma işleminde, rms ve spektral öznitelikleri öznitelik kümesinden çıkarıldığı durumda en yüksek başarımlar elde edilmiştir. Elde edilen doğruluk oranı %72.33 olarak görülmüştür.

SVM ile elde edilen başarımların sonuçlarına bakıldığında görülmektedir ki klasik müzik türüne ait sonuçlar oldukça yüksektir. Rock müzik türünde ise en düşük değerler elde edilmiştir.

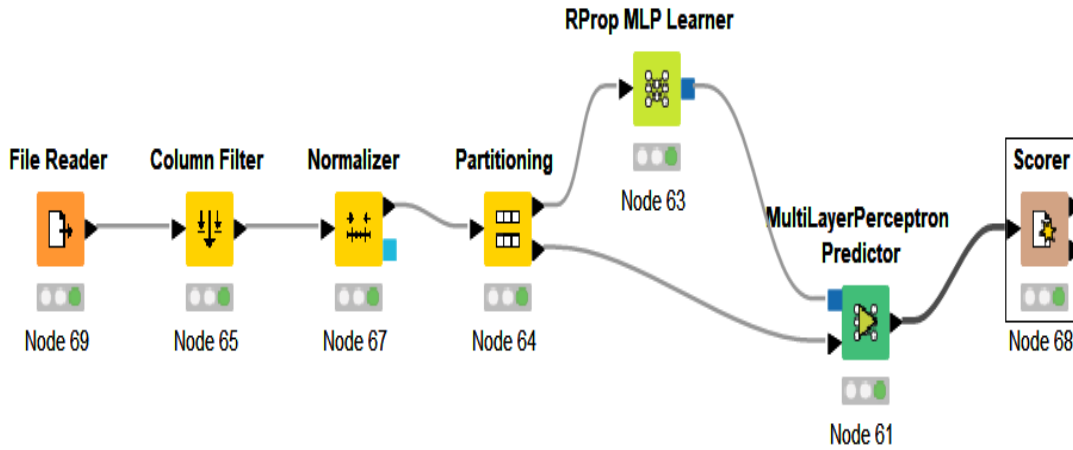
4.3. YSA ile Elde Edilen Sonuçlar

Sınıflandırıcı olarak YSA seçildiği durum için ilk olarak veri kümesine min-max normalizasyonu uygulanmıştır. Ardından veri kümesi, eğitim için %70 test için ise %30 olacak şekilde ayrılmıştır. Daha sonra yapay sinir ağları algoritması uygulanarak sınıflandırmanın işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm sınıflar için elde edilen başarımların sonuçları ve akış diyagramları aşağıda detaylarıyla verilmiştir.

YSA algoritması ile gerçekleştirilen sınıflandırmada, özniteliklerden yalnızca rms özniteliği değerlendirilecek öznitelik kümesinden çıkarıldığı durumda en yüksek başarımlar elde edilmiştir. Elde edilen doğruluk oranı %67.67 olarak görülmüştür.

Tablo 2. SVM ile başarımların metriklerinin sonuçları.

Metrikler					
Türler	Recall	Precision	Sensitivity	Specificity	F1-Score
blues	0,72	0,61	0,72	0,94	0,66
classical	0,94	0,89	0,94	0,98	0,91
country	0,63	0,74	0,63	0,98	0,68
disco	0,5	0,71	0,5	0,98	0,59
hiphop	0,48	0,83	0,48	0,99	0,61
jazz	0,86	0,82	0,86	0,97	0,84
metal	0,92	0,76	0,92	0,96	0,83
pop	0,88	0,77	0,88	0,97	0,82
reggae	0,83	0,54	0,83	0,94	0,66
rock	0,34	0,53	0,34	0,97	0,42

**Şekil 6.** KNIME ile YSA algoritmasının uygulanması.

YSA ile elde edilen başarımların sonuçlarına bakıldığında diğer sınıflandırma algoritmalarındaki gibi yine klasik müzik türüne ait sonuçlar oldukça yüksektir. Rock müzik türünde de yine diğer algoritmalarındaki benzer şekilde en düşük değerler elde edilmiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, GTZAN veri kümesi kullanılarak müzik türlerinin sınıflandırılması için farklı özellikler içeren bir yöntem geliştirilmiştir. Rastgele Orman (RF), Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) gibi sınıflandırma algoritmaları kullanılarak elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

3 farklı algoritma ile gerçekleştirilen müzik türlerini sınıflandırma çalışmasında çeşitli özellik kombinasyonu deneyleri neticesinde RF ile %81, YSA ile %67,67, SVM ile %72,33 doğruluk oranı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar gösteriyor ki RF algoritması diğer 2 algoritmadan az bir farkla daha yüksek bir başarıma ulaşmıştır. Bu çalışma, müzik sınıflandırmasında çeşitli algoritmaların ne oranda başarıma ulaşacağını incelemiştir. Ayrıca özelliklerin etkileri de irdelenmiştir. Algoritmalar arasında kayda değer bir fark olduğu ve müzik sinyallerinden elde edilen özelliklerin sınıflandırmaya olan etkisi gözlemlenmiştir. GTZAN veri kümesindeki oldukça çeşitli özelliklerin kullanılarak hangisinin başarıma olan etkisinin ne kadar yüksek olduğunun ölçülebilmesi imkânı elde edilmiştir.

Özelliklerin seçimi, sınıflandırma için en uygun özellik kümesini belirlemek için önemli bir faktördür. Bu çalışmada, ses karakteristik özellikleri arasından en uygun olanlarının seçilmesi için çeşitli kombinasyonlar denemiştir. Çeşitli özellikler arasında en belirleyici olanının MFCC özelliği olarak görülmüştür. Sınıflandırılan

Tablo 3. YSA ile başarımların metriklerinin sonuçları.

Metrikler					
Türler	Recall	Precision	Sensitivity	Specificity	F1-Score
blues	0,62	0,55	0,62	0,95	0,58
classical	0,86	0,91	0,86	0,99	0,89
country	0,71	0,57	0,71	0,94	0,63
disco	0,72	0,62	0,72	0,95	0,67
hiphop	0,73	0,76	0,73	0,98	0,75
jazz	0,85	0,65	0,85	0,96	0,73
metal	0,81	0,79	0,81	0,98	0,80
pop	0,74	0,74	0,74	0,97	0,74
reggae	0,54	0,71	0,54	0,97	0,61
rock	0,15	0,27	0,15	0,96	0,20

müzik türleri arasında, klasik müzik türüne ait sonuçlar diğer türlere göre daha yüksek olmuştur. Bu durumun, klasik müziğin diğer müzik türlerinden daha belirgin ve ayırt edici özelliklere sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Rock müzik türü ise en düşük sonuçlar elde edilen tür olmuştur. Bu durumun ise rock müziğin diğer müzik türleriyle karıştırılmasına neden olan benzerlikler içermesinden dolayı olduğu düşünülmektedir.

RF algoritmasıyla elde edilen başarı oranı %81 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, RF'nin müzik türlerini sınıflandırmak için oldukça etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. SVM algoritmasıyla elde edilen başarı oranı %72,33 olarak belirlenmiştir. SVM algoritmasının da müzik türlerini sınıflandırmada başarılı olduğu ancak RF kadar etkili olmadığı görülmektedir. YSA algoritmasıyla elde edilen başarı oranı ise %67,67 olarak belirlenmiştir. YSA'nın da müzik türlerini sınıflandırmada kullanılabilecek ancak diğer iki algoritma kadar etkili olmayabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu sonuçlar, müzik türlerinin sınıflandırılmasında RF ve SVM gibi makine öğrenimi algoritmalarının etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak, daha kapsamlı ve hassas bir sınıflandırma için farklı özelliklerin ve algoritmaların da incelenmesi gerektiği unutulmamalıdır. Bu çalışma, müzik ve bilgisayar bilimleri arasındaki etkileşimi anlamak ve müzik türlerinin analizini geliştirmek için önemli bir adım olarak değerlendirilebilir.

Literatürdeki mevcut çalışmalarda GTZAN veri kümesi ile yapılan çalışmalarda genellikle CNN algoritması uygulanmıştır. Bu çalışmada, ses sinyallerinden elde edilen özellikler ile müzik sınıflandırmada sıkça kullanılan 3 farklı makine öğrenmesi algoritmasının performansı ölçülerek başarımları karşılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra bu çalışma gerek makine öğrenmesi algoritmalarının gerekse derin öğrenme algoritmalarının çalıştırılabildiği KNIME platformunda gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, müzik sinyallerinden elde edilen 57 özellik kullanılmıştır. Ancak, bu özelliklerin hepsi sınıflandırma için eşit derecede önemli veya uygun olmayabilir. Bazı özellikler gürültü, aykırı korelasyon gibi sorunlara neden olabilmektedir. Bu nedenle, farklı özellik seçim veya çıkarma yöntemleri kullanmak sınıflandırma için en uygun özellik kümesini belirlemeye yardımcı olabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan algoritmaların her biri farklı parametreler veya hiper-parametreler gerektirir. Bu parametrelerin değerleri, sınıflandırma sonucunu etkileyebilir. Bu nedenle farklı algoritmalar veya parametreler denemek, sınıflandırma için en uygun modeli bulmaya yardımcı olacaktır.

6. TARTIŞMA

Müzik sınıflandırmada belirli türler arasında ciddi benzerlikler bulunmaktadır. Örneğin rock müzik türü ve metal müzik türü arasında ciddi benzerlikler bulunmaktadır. Bu çalışmada da bu 2 tür arasında ciddi benzerlikler gözlemlenmiştir. Bu durumun aşılması ve daha isabetli sonuçların üretilebilmesi için araştırmacılar hibrit türler üzerinde çalışmalara yönelebilir. Bu durumda belirli oranlarda örtüşen türlere ait parçaların hibrit kabul edilerek tür etiketlerinin güncellenmesi ve bu sayede sınıflandırma çalışmalarının daha belirleyici olabileceği öngörülmektedir.

Gerçekleştirilen sınıflandırma çalışması ile makine öğrenmesi yöntemlerinden öne çıkan yöntemlerin başarımlarının karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu yöntemlerden en başarılı sonucu veren yöntem Rastgele Orman olarak tespit edilmiştir. Bu yöntemin müzik sınıflandırma çalışmalarında oldukça etkili bir yöntem olduğu ve dikkate değer bir algoritma olacağı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra farklı algoritmaların uygulanması ile

özellikle derin öğrenme algoritmaları ve çeşitli hiper-parametre kombinasyonları ile başarılı sonuçlar elde edilebileceği de göz ardı edilmemelidir. Kullanılan veri kümesi oldukça geniş bir öznitelik havuzuna sahiptir. Bu durumun ileriye dönük çalışmalarda benzer bir veri kümesi oluşturulmasında ilham verici olabileceği unutulmamalıdır.

Bu makine öğrenme yöntemlerinin yanı sıra çeşitli derin öğrenme yöntemleri de eklenerek çalışmanın kapsamı genişletilebilir. Bunun için KNIME platformu araştırmacılara gerek verinin ön işlenmesi aşamasında gerekse sınıflandırma aşamasında çeşitli imkanlar sunmaktadır.

Yazar Katkıları

Her bir yazar eşit seviyede katkı sunmuştur.

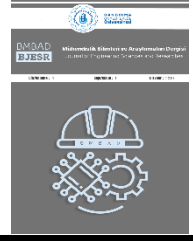
Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKÇA



- [1] M.B. Er, H. Çiğ, "Türk müziği uyarınları kullanılarak insan duygularının makine öğrenmesi yöntemi ile tanınması", Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, vol. 8, no. 2, pp. 458-474, 2020.
- [2] M. Yılmaz, H. Şahin, A. Yıldız, "Sectoral application analysis of studies made with deep learning models" Electronic Letters on Science and Engineering, vol. 17, no. 2, pp.126-140, 2021.
- [3] S. Çeven, R. Bayır, "Ortam Sesinden İnsan Sesinin Ayırıştırılması için Filtre Geliştirilmesi", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, pp. 331-337, 2020.
- [4] H.E. Kocer, M.C. Ahmed, "Turkish Speech recognition using Mel-frequency cepstral coefficients (MFCC) and Hidden Markov Model (HMM)", Veri Bilimi, vol. 2, no. 2, pp. 39-44, 2019.
- [5] N. Ndou, R. Ajoodha, A. Jadhav, "Music genre classification: A review of deep-learning and traditional machine-learning approaches", In 2021 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS), IEEE, pp. 1-6, 2021.
- [6] J. SuriyaPrakash, S. Kiran, "Obtain Better Accuracy Using Music Genre Classification System on GTZAN Dataset", In 2022 IEEE North Karnataka Subsection Flagship International Conference (NKCon), IEEE, pp. 1-5, 2022.
- [7] A. Ghildiyal, K. Singh, S. Sharma, "Music genre classification using machine learning", In 2020 4th international conference on electronics, communication and aerospace technology (ICECA), IEEE, pp. 1368-1372, 2020.
- [8] F. Khan, I. Tarimer, H.S. Alwageed, B.C. Karadağ, M. Fayaz, A. B. Abdusalomov, Y.I. Cho, "Effect of feature selection on the accuracy of music popularity classification using machine learning algorithms", Electronics, vol. 11, no. 21, pp. 3518, 2022.
- [9] G. Jawaharlalnehru, S. Jothilakshmi, "Music genre classification using deep neural networks", International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology, vol. 4, pp. 935, 2018.
- [10] J. Guo, A. Liu, J. Xiao, "Melody classification based on performance event vector and BRNN", arXiv preprint arXiv:2010.07562, 2020.
- [11] Y. Yaslan, Z. Cataltepe, "Audio genre classification with co-mrmm", IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference, pp. 408-411, 2009.
- [12] M. Won, S. Chun, X. Serra, "Toward interpretable music tagging with self-attention", arXiv preprint arXiv:1906.04972, 2019.
- [13] C. Ritter, C. Altenhofen, M. Zeppelzauer, A. Kuijper, T. Schreck, J. Bernard, "Personalized Visual-Interactive Music Classification", In EuroVA@ EuroVis, pp. 31-35, 2018.
- [14] R.L. Aguiar, Y.M. Costa, C.N. Silla, "Exploring data augmentation to improve music genre classification with convnets", International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), IEEE, pp. 1-8, 2018.
- [15] Z. Durdağ, P. Erdoğan, "Müzik türlerinin derin öğrenme ağları ile sınıflandırılması", Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences, vol. 2, no. 1, pp. 53-60, 2019.
- [16] R. Thiruvengatanadhan, "Music Classification using MFCC and SVM", International Research Journal of Engineering and Technology, vol. 5, pp. 922-924, 2018.
- [17] W. Zhao, Y. Zhou, Y. Tie, Y. Zhao, "Recurrent neural network for MIDI music emotion classification", IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC), IEEE, pp. 2596-2600, 2018.

- [18] S. Vishnupriya, K. Meenakshi, "Automatic music genre classification using convolution neural network", International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI), IEEE, pp. 1-4, 2018.
- [19] K.J. Archer, R.V. Kimes, "Empirical characterization of random forest variable importance measures", Computational statistics & Data analysis, vol. 52, no. 4, pp. 2249-2260, 2008.
- [20] A. Atalan, H. Şahin, Y.A. Atalan, "Integration of machine learning algorithms and discrete-event simulation for the cost of healthcare resources" In Healthcare, MDPI, vol. 10, no. 10, pp. 1920, 2022.
- [21] P. Akın, Y. Terzi, "Dengesiz veri setli sağkalım verilerinde cox regresyon ve rastgele orman yöntemlerin karşılaştırılması" Veri Bilimi, vol. 3, no. 1, pp. 21-25, 2020.
- [22] H. Fu, K. Qi, "Evaluation model of teachers' teaching ability based on improved random forest with grey relation projection", Scientific Programming, pp. 1-12, 2022.
- [23] M. Schonlau, R.Y. Zou, "The random forest algorithm for statistical learning" The Stata Journal, vol. 20, no. 1, pp. 3-29, 2020.
- [24] S. Huang, N. Cai, P.P. Pacheco, S. Narrandes, Y. Wang, W. Xu, "Applications of support vector machine (SVM) learning in cancer genomics", Cancer genomics & proteomics, vol. 15, no. 1, pp. 41-51, 2018.
- [25] S. Ghosh, A. Dasgupta, A. Swetapadma, "A study on support vector machine based linear and non-linear pattern classification", International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS), IEEE, pp. 24-28, 2019.
- [26] T.T. Bilgin, S.B. Altınışık, N.A. Adıgüzel, "A Comparative Study of Classification and Clustering Methods for Data Analysis in Digital Transformation and IoT Systems", Orclever Proceedings of Research and Development, vol. 3, no. 1, pp. 1-18, 2023.
- [27] J. Zou, Y. Han, S.S. So, "Overview of artificial neural networks", pp. 14-22, 2009.
- [28] R.M. Sadek, S.A. Mohammed, A.R.K. Abunbehan, A.K.H.A. Ghattas, M.R. Badawi, M.N. Mortaja, S.S. Abu-Naser, "Parkinson's disease prediction using artificial neural network", International Journal of Academic Health and Medical Research, vol. 3, no. 1, pp. 1-8, 2019.
- [29] M.E. Tabar, A.C. Başara, Y. Şişman, "Çoklu regresyon ve yapay sinir ağları ile Tokat ilinde konut değerlendirme çalışması", Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi, vol. 3, no. 1, pp. 1-7, 2021.
- [30] S. Budak, B. Akbal, "Görüntü işleme ve yapay sinir ağları ile iletişim hatlarında arıza yeri belirleme", Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, vol. 8, no. 3, pp. 678-692, 2020.
- [31] F. Aydemir, S. Arslan, "A System Design with Deep Learning and IoT to Ensure Education Continuity for Post-COVID", IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2023.
- [32] S. Dörterler, "Hybridization of k-means and meta-heuristics algorithms for heart disease diagnosis", New Trends in Engineering and Applied Natural Sciences, vol. 55, 2022.
- [33] S. Dörterler, "Kanser Hastalığı Teşhisinde Ölüm Oyunu Optimizasyon Algoritmasının Etkisi", Mühendislik Alanında Uluslararası Araştırmalar VIII, pp. 15, 2023.



Design and Comparative Analysis of E-Shape and H-Shape Microstrip Patch Antenna for IoT Application

Nesnelerin İnterneti Uygulaması için E-Tip ve H-Tip Mikroşerit Yama Anten Tasarımı ve Karşılaştırmalı Analizi

¹Ali DURMUŞ , ^{1,2}Zafer YILDIRIM 

¹Department of Electrical-Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Architecture and Design, Kayseri University, Kayseri Turkey.

²Department of Electronics and Automation, Boğazlıyan Vocational School, Yozgat Bozok University, Yozgat, Turkey.

¹alidurmus@kayseri.edu.tr, ²zafer.yildirim@yobu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 19 February 2024

Accepted : 18 March 2024

Keywords:

Optimization,
Machine Learning,
Microstrips Antenna Array,
Internet of Things

ABSTRACT

In this study, H-Shape and E-Shape microstrip antenna arrays with high efficiency and management are designed using Surrogate Model Assisted Differential Evolution Algorithm (SADEA) for antenna synthesis. In order to meet the increasing wireless communication requirements of the internet of things (IoT) technology it has become very important to design new antenna designs with artificial intelligence techniques to transmit electromagnetic waves between antenna elements in the most efficient way. With a view to operate in the 2.5 GHz band, which is widely used in wireless communication technologies. H-Shape and E-Shape microstrip antennas with a 2x2 structure are analyzed and finally compared. By using the SADEA method, the amplitude and the distance between the array elements are optimized. The total amplitude of the 4-element E-Shape and H-Shape microstrip antenna array is minimized to 2.45885 V and 2.14929 V, respectively, after optimization, while it is 4V for both before optimization.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 19 Şubat 2024

Kabul : 18 Mart 2024

Anahtar Kelimeler:

Optimizasyon,
Makine Öğrenmesi,
Mikroşerit Anten Dizisi,
Nesnelerin İnterneti

ÖZET

Bu çalışmada, anten sentezi için vekil model destekli diferansiyel evrim metodu (SADEA) kullanılarak yüksek verimliliğe ve yöneltiliğe sahip H-tipi ve E-tipi mikroşerit anten dizileri tasarlanmıştır. Nesnelerin interneti (IoT) teknolojisinin artan kablosuz haberleşme gereksinimlerini karşılamak amacıyla, elektromanyetik dalgaların anten elemanları arasında en verimli şekilde iletilmesi için yapay zeka teknikleri ile yeni anten tasarımlarının yapılması oldukça önemli hale gelmiştir. Kablosuz haberleşme teknolojilerinde yaygın olarak kullanılan 2.5 GHz bandında çalışmak üzere 2 farklı durum ele alınmıştır. 2x2 yapıya sahip H-tipi ve E-tipi mikroşerit anten dizisi analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. SADEA yöntemi kullanılarak, genlik ve elemanlar arasındaki mesafe optimize edilmiştir. Dört elemanlı E-tipi ve H-tipi mikroşerit anten dizisinin toplam genliği, optimizasyondan önce her ikisi için de 4V iken, optimizasyondan sonra sırasıyla 2.45885 V ve 2.14929 V'a indirgenmiştir.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayımlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. INTRODUCTION

Today, Internet of Things (IoT) systems are predicted to support a wider user base, offer higher data rates, faster latency, and higher energy efficiency [1-2]. For these reasons, there is a need for an antenna with higher gain and a more directional radiation pattern. Since the antenna used for this purpose alone could not achieve high efficiency and the desired directivity, antenna arrays are formed by combining multiple antennas with different geometries [3]. Thus, the communication speed of IoT systems can be increased with optimum antenna array design. In the design of antenna arrays, parameters such as amplitude, position, and phase are optimized [4]. Since this optimization process is a complex nonlinear problem, it is very difficult to solve it with classical methods. Antenna design has become very important with artificial intelligence methods used in many different fields in recent years instead of classical methods [5]. Searching in the search space with a single search agent using classical methods is insufficient to find suitable solutions for difficult problems such as antenna array design. Artificial intelligence methods that can distinguish global and local minimum points, which have more search agents, overcome difficult problems such as antenna array design [6].

The production of distinct radiation patterns for a consistent antenna configuration necessitates iterative rerunning of algorithms for every distinct model, culminating in a notable extension of computational duration. In recent times, widely used artificial intelligence methodologies have been employed across diverse realms of scholarly investigation and practical implementation, encompassing domains such as electromagnetic (EM) computation problems. Artificial intelligence optimization techniques have also been used to design and synthesize various antenna types. When designing the antenna structure, artificial intelligence techniques can be used to reduce simulation time and obtain the optimum radiation pattern. Increasing the antenna array gain by using new artificial intelligence techniques, such as machine learning methods, is quite common in the literature [3-12].

Antenna arrays are used to increase signal strength, have good directivity and reduce electromagnetic noise. In this study, two different type microstrip antenna arrays with 4 elements are designed using MATLAB Antenna Array Designer tool and their performances are presented comparatively. The antenna types compared in this study are H-Shape and E-Shape antennas. The 4-element antenna array is chosen because it is generally easier to design and is more frequently used in medium-scale applications. This antenna array is capable of transmitting and receiving signals at different frequencies and in different directions. They also cost less and consume less power than larger antenna arrays. Therefore, they are highly efficient, cost-effective, and energy-efficient options that provide adequate performance for many applications.

Surrogate model assisted differential evolution for antenna synthesis (SADEA) methods are machine learning based SAEAs that use metaheuristic algorithms to support antenna synthesis. To help optimize the process, SADEA generates a surrogate model using statistical learning methods. SADEA's advantages of good convergence, efficiency, fast solving, and accurate computation make it an appropriate choice for this study. The literature contains several studies on the design of E-Shape and H-Shape antennas.

A 1x3 microstrip antenna array for automotive radar applications is designed by Sumit S. at 24 GHz [7]. A new microstrip antenna element operating in a millimeter wave band is designed by Jia-Fu [8]. The H-Shaped coupling slot feeding is used to extend the bandwidth and reduce the back radiation, and the parasitic patching methods are added [8]. The H-Shaped compact microstrip antennas designed by Ahmet using the Weed algorithm made it possible to determine the resonance frequencies depending on the size of the antenna in the 1-3 GHz frequency band [9]. A study by Amit A. using H-, C- and W-shaped ground plane profiles increased the bandwidth and gain of a compact broadband proximity-fed rectangular and circular microstrip antenna [10]. Arijindinav E. obtained the design of the microstrip antenna with an H-Shaped patch in the 2.4 GHz frequency band for WLAN applications, using Advanced Design Software (ADS); With this design simulation results, advanced antenna parameters such as gain, directivity, bandwidth, return loss, VSWR and impedance matching are presented [11]. In a study by Alireza Jafarieh et al. using the Kriging technique model generator, the optimal array for high gain and wide BW in the designed Yagi-Uda array is designed [12]. Ahmed M. Montaser used a hybrid MGSA-PSO approach and a DNN trained with the backpropagation technique to design a compact and low-cost 20-element SIW-guided microstrip patch antenna array for 120 GHz ISM band applications [13]. Dumbbell shaped 4 and 8 element microstrip patch antenna arrays suitable for 5G are fabricated in five different frequency bands (4.4 GHz, 5.9 GHz, 5.9 GHz, 6.05 GHz and 7.3 GHz) with a maximum gain of 6.74 dB and a bandwidth of 1383 MHz in the study by Rovin Tiwari et al. [14]. The 30 GHz band antenna designed by Mohammad B.A. et al. using the CST application has a compact structure of $10 \times 10 \times 0.245$ mm³ and a reflection coefficient below -14 dB [15]. The microstrip patch antenna operating at 2.4 GHz is designed by Sohail Rana et al. using the CST program to have a lower return loss, a higher gain, and lower VSWR values. The values obtained from the simulation are -13.89 dB, 6.66 dB and 1.50 of return loss, gain, and VSWR respectively [16]. The 1x8 antenna array proposed by Al-Gburi et al. is designed using the CST application to be fed by the microstrip enterprise feed line and provides directional radiation useful for the base station to provide high quality and high-capacity network connectivity, and 6.938 at 5 GHz [17]. Hasan Biddut et al. designed an ultra-wide, multi-slot microstrip patch antenna that operates in the V-band. The slots are placed at random intervals on the microstrip patches to increase the bandwidth and a microstrip patch antenna array is operated at a frequency of 54.504 GHz [18]. Jae H.K. and Sang W.C. designed a 4x1 patch antenna using DNN trained with 6.859 pattern samples by determining the amplitude and phase of antenna elements according to radiation patterns. The E-Shaped microstrip patch antenna array (MSPAA) designed in this

study by K.P Nadar et al. is compared with other antennas in the literature, and a more efficient MSPAA is designed [19]. A tiny, inexpensive E-Shape antenna array is created for WLAN applications in research by R.M. Gonzalez et al. [20]. In the study by S. Gupta et al., Shape of E-H, and U antennas are designed and analyzed comparatively [21]. This study, which shows how the DOE method will increase the effect of the optimization efficiency by using antenna simulation software, is carried out by J. H. Chen et al. by designing an E-Shape antenna [22].

In this study, E-Shape and H-Shape microstrip antenna arrays, which are known to have high gain, are selected for comparison. Antenna gains can vary depending on antenna parameters like orientation and inter-element distance. They also offer high bandwidth and can be used for a wide range of applications. These microstrip array antennas have a simple structure and are thus easy to manufacture, making them ideal for large-scale production. As a result, they are less expensive than other antenna types, making them ideal for low-cost communication systems. They advantageous and useful compared to other antennas in terms of compact design, high directivity, high gain, wide bandwidth, easy manufacturing, and cost effectiveness. E-Shape and H-Shape microstrip antennas are widely used in applications due to these features. In this paper, we consider the design of E-Shape and H-Shape 4-elements microstrip antenna arrays.

Additionally, a comparative presentation of the simulation results and the evaluation criteria for the antenna array design performance is provided.

The 5G NR (New Radio) technology of 5G networks uses a frequency range of 2.5 GHz, between the 2.4 GHz and 5 GHz bands. The advantages of 5G networks, including increased bandwidth, faster data rates, and reduced latency, are enhanced by this frequency. Furthermore, it enables higher data rates and bandwidths due to its higher frequency than lower frequencies like 2.4 GHz. For applications that need high-speed data transmission, the 2.5 GHz frequency is therefore recommended.

In this study, an optimization method called SADEA is used in E-Shape and H-Shape microstrip 4 element antenna array design. SADEA is an evolutionary algorithm that optimizes the amplitude and phase values of the elements specially developed by MATLAB to direct the radiation patterns of the antenna arrays in the desired direction, zero the side beams and increase the gain. How the SADEA method is applied in antenna array design, which parameters are used and how they are adjusted are explained in detail in this article. Additionally, a comparative presentation of the simulation results and the evaluation criteria for the antenna array design performance is provided.

The 5G NR (New Radio) technology of 5G networks uses frequencies in the 2.4 GHz and 5 GHz bands. The advantages of 5G networks, such as increased bandwidth, higher data rates and lower latency in networks with previous technology, are enhanced with this frequency. Furthermore, it enables higher data rates and bandwidths due to its higher frequency in comparison to lower frequencies like 2.4 GHz. For applications that need high-speed data transmission, the 2.5 GHz frequency is therefore recommended.

Section 2 describes the optimization method. Section 3 explains the problem formulation of the H-Shape and E-Shape microstrip antenna array. Section 4 descriptions the numerical results. Section 5 discusses the conclusions.

2. SADEA OPTIMIZER

Antenna design is a discipline that plays an important role in modern communication systems. Traditional methods for antenna design are based on mathematical models and the design process is quite time consuming. Machine learning methods allow rapid and intelligent optimization in the antenna design process and automate the design process to a large extent. Machine learning is a method that enables computer systems to improve through data-based experience. This method integrates statistical and mathematical techniques to analyze data, identify pattern and make predictions to solve complex problems. Machine learning techniques can be inspired by optimizing algorithms and using surrogate modeling to tackle challenging problems. In this way, it can search more effectively. It can also effectively process large datasets and develop automated decision-making systems. All of this offers the potential for innovation and progress in a wide range of areas, from industrial applications to medical research and beyond. Surrogate Model Aided Evolutionary Algorithms (SAEAs) have recently received much interest due to the increasing demand for optimizing many computationally real-world problems [23]. Surrogate model assisted differential evolution for antenna synthesis (SADEA) is an artificial intelligence-driven antenna design technique that stands for surrogate model assisted differential evolution for antenna design. SADEA method, which is an SAE, is supported by the Differential Evolution Algorithm (DEA) and Gaussian Process (GP) for the design of the antenna [24]. SADEA uses machine learning and evolutionary computing techniques with the advantages of good convergence, efficiency, fast solving, and accurate computation [25, 26]. Due to the aforementioned characteristics of SADEA, E-Shape and H-Shape antenna array designs using SADEA are considered appropriate for this study. The way SADEA works is explained in the following equations:

$$x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \tag{1}$$

$$y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n) \tag{2}$$

Using the GP model for the function value of $y(x^*)$ at a new point x^* is determined as Eq. 3.

$$y(x^*) = \mu + r^T R^{-1}(y - I\mu) \tag{3}$$

$$\text{Corf}(x_i, x_j) = R_{i,j} \text{ and } i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

$$r = [\text{Corf}(x_i, x_j), \text{Corf}(x^*, x_2, \dots), \text{Corf}(x^*, x_2)] \quad (5)$$

$$\mu = (I^T R^{-1} I)^{-1} I^T R^{-1} y \quad (6)$$

Eq. 3 below provides an illustration of this correlation function:

$$\text{Corf}(x_i, x_j) = \exp\left(\sum_{l=1}^d \theta_l |x_i^l - x_j^l|^{p_l}\right); \theta_l > 0, 1 \leq 2 \quad (7)$$

where θ_l is the correlation parameter, and d is the dimension of x . p_l is the function's smoothness with relation to x^l . The GP will maximize the likelihood function in order to calculate the correlation parameter and the smoothness function:

$$h = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} (\sigma^2)^{\frac{n}{2}} |R|^{\frac{1}{2}}} \quad (8)$$

$$\exp\left(-\frac{(y-l\mu)^T R^{-1} (y-l\mu)}{2\sigma^2}\right) \quad (9)$$

where l is $n \times 1$ vector of ones. Assuming that θ_l and p_l are known, the value of σ^2 will be and the value of μ will be obtained by setting the derivatives of the probability function to 0.

$$\sigma^2 = (y - l\mu)^T R^{-1} (y - l\mu)^{n-1} \quad (10)$$

The prediction uncertainty s^2 , which is obtained by substituting μ and σ^2 into Eq. 9, is used to evaluate the accuracy model as

$$s^2(x^*) = \sigma^2 [I - r^T R^{-1} r + (I - r^T R^{-1} r)^2 (r^T R^{-1} I)^{-1}] \quad (11)$$

$$y_{lcb}(x) = y - \omega s, \omega \in [0,3] \quad (12)$$

Figure 1 shows the flow chart of the antenna array design with SADEA mentioned in the above formulas.

The range of values for which optimization is to be performed is selected.

- The first step is to generate the population by selecting " λ -best" solutions. λ is one of the solutions in the population. λ -best is the best solution. At each iteration, the population is formed by updating the values.
- If a predefined condition for the termination criterion is met, the best answer is removed from the database. Otherwise, it continues.
- The number of stopping iterations is set to 10 due to the fast processing time and since no significant increase is observed after the tenth iteration.
- The population standard deviation (PSD) is calculated and must be below threshold (T).
- It performs the EM simulation for the best sub-solution at each iteration and records the results.
- When the finishing requirement is reached, the iteration is completed and the best results are determined.
- The results obtained are given in Section 4 through tables and figures.

3. PROBLEM FORMULATION

Antenna design is an important issue that directly affects the performance of modern communication systems. The aim of antenna design is to obtain high-gain, low sidelobe, and wideband antennas with the desired radiation characteristics. Antenna arrays are often used for this purpose. Antenna arrays are antenna systems created by placing and feeding more than one antenna element according to a certain geometry. The radiation characteristics of antenna arrays depend on parameters such as the number, shape, position, orientation, and amplitude of the elements. Various methods have been developed to optimize these parameters. In this article, SADEA method, which is specially developed by MATLAB for antenna optimization, is used to optimize the distance and amplitude values between elements in antenna arrays. The SADEA method is an artificial intelligence supported method for antenna design. Based on machine learning and evolutionary computing techniques, this method has advantages such as optimization generality, efficiency, quality, and robustness. The SADEA method performs global optimization and uses a compensatory model created with statistical learning techniques. In the adaptive model-assisted optimization methods, it is critical that the performer modelling and optimization work in harmony. The SADEA method borrows some ideas from the fulfilling pattern-aware evolutionary search framework. The SADEA methodology employs differential evolution (DE) as its underlying search mechanism, coupled with Gaussian process (GP) machine learning serving as an adjunctive compensatory modelling approach. For the application of the microstrip antenna array, FR4 substrate, which is easily available in the market, is preferred, loss tangent of the FR4 material ($\delta = 0.020$), relative dielectric constant ($\epsilon_r = 4.40$), insulator plate height ($h = 1.5750$ mm) and conductor thickness ($t = 0.0350$) are planned to be produced in mm. While calculating the physical parameters of the classical microstrip patch antenna modelled to be used for LoRa WAN at operating frequencies of 433 MHz and 868 MHz, the transmission line model is taken as a reference and an element of the E-Shape and H-Shape antennas geometry shown as Figure 2.

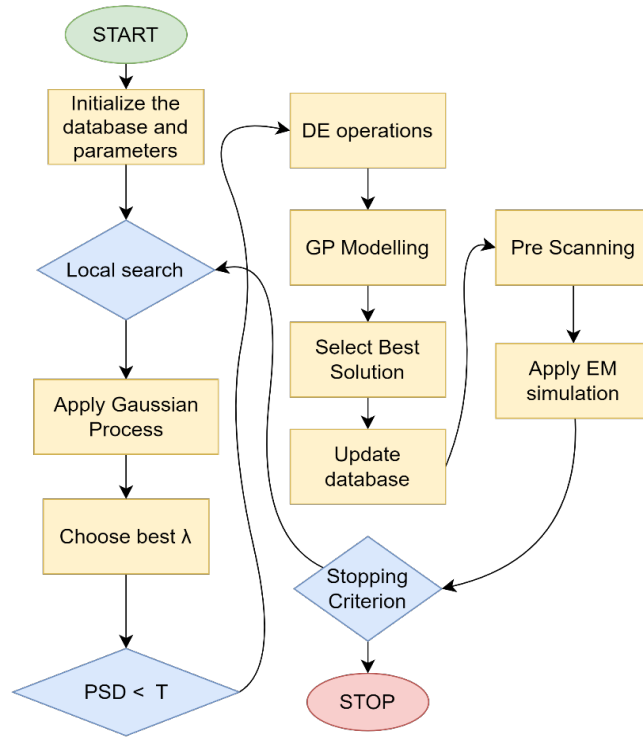


Figure 1. Flowchart of optimization process.

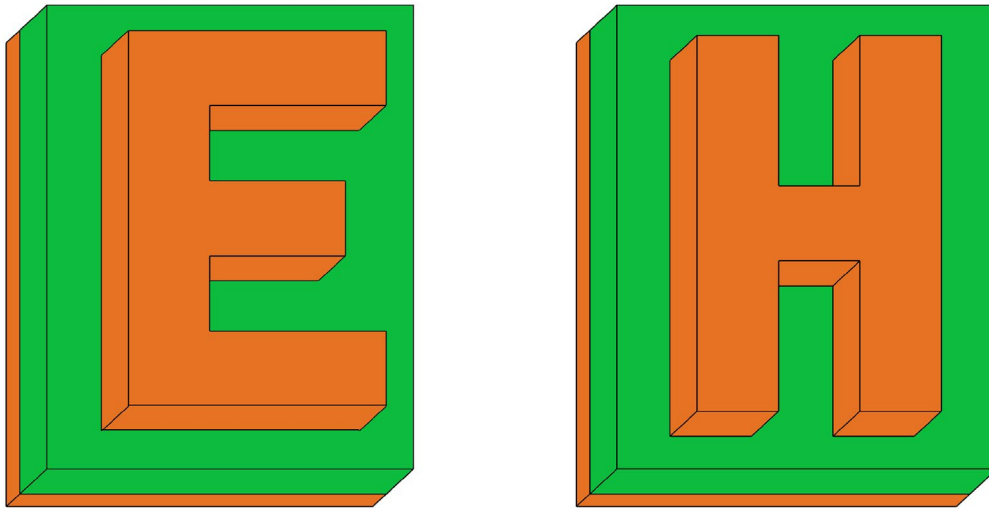


Figure 2. Structure of E-Shape and H-Shape microstrip antenna.

The part shown in green in Figure 2 represents the substrate consisting of FR4 material. The part shown in orange represents the conductive PEC material. As it is widely known, the frequency of resonance is provided in the Eq. 13:

$$f_r = \frac{2}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (13)$$

The radiation properties are determined by the shape and size of the patch, as described in the Eq.14 and Eq. 15.

$$W = \frac{2}{f_r} \epsilon_r + \frac{-1}{2} \quad (14)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r\sqrt{\epsilon_r} - 2\Delta l} \quad (15)$$

where c , f_r , ϵ_r , Δl and L are the free space velocity of the light, resonant frequency of the antenna, the effective dielectric constant of the substrate, the length of equivalent radiation gap and the actual length of the current, respectively. The structure of the E-Shape and H-Shape slot antenna are illustrated in Figure 2. A substrate characterized by a low dielectric constant has been designated to achieve a compact radiating structure conforming to stringent bandwidth requirements. Increasing antenna efficiency is one of the most important factors in

improving wireless communication quality and saving energy. As a result, designing an antenna array with more efficient antennas that meet next-generation wireless applications is a difficult task, particularly when it comes to maintaining stable radiation patterns across the operating frequency band.

4. NUMERICAL RESULTS

The radiation properties are determined by the size and shape of the patch. The performance of the antenna arrays is analyzed by simulations. In this study, the important parameters of antenna arrays such as gain, radiation pattern and inter-element distance are analyzed. While designing these antenna arrays, first the model design is carried out and then the optimization process is carried out on this model. In our literature review, the most common iteration numbers vary between 20 and 50. Therefore, we did preliminary studies with iterations between 20 and 50. In our studies, when we exceeded 20, no significant performance increase and no significant change in the data in the comparisons are detected. In the light of this information, we set the number of iterations as 20, which is our completion criterion. CPU time are taken for E and H shape microstrip antennas. 120 s and 150 s are the times taken for the optimization of E-Shape and H-Shape microstrip antennas, respectively. For the simulation of the microstrip antenna array, ideal materials where the losses are assumed to be 0 are used. The default value for the material is a PEC. For the design problem, FR4 substrate, which is easily available in the market, is preferred, the loss tangent of FR4 material ($\delta = 0.020$), relative dielectric constant ($\epsilon_r = 4.40$), insulator plate height ($h = 1.5750$ mm) and conductor thickness ($t = 0.0350$ mm) have been planned. The operating frequency is set at 2.5 GHz. E-Shape and H-Shape 4-element microstrip antenna arrays are analyzed in separate cases.

4.1. Case 1: 4-Element Microstrip H-Shape Antenna Array

The results show that microstrip antenna arrays are a high performance and efficient technology. The 3D radiation pattern of the 4-element H-Shape microstrip antenna array is illustrated in Figure 3. Before the optimization process, each element has an amplitude value of 1 V. The distance between the elements in both rows and columns is 0.059958 mm. After optimization, these values are 0.069192 mm for row spacing and 0.095527 mm for column spacing.

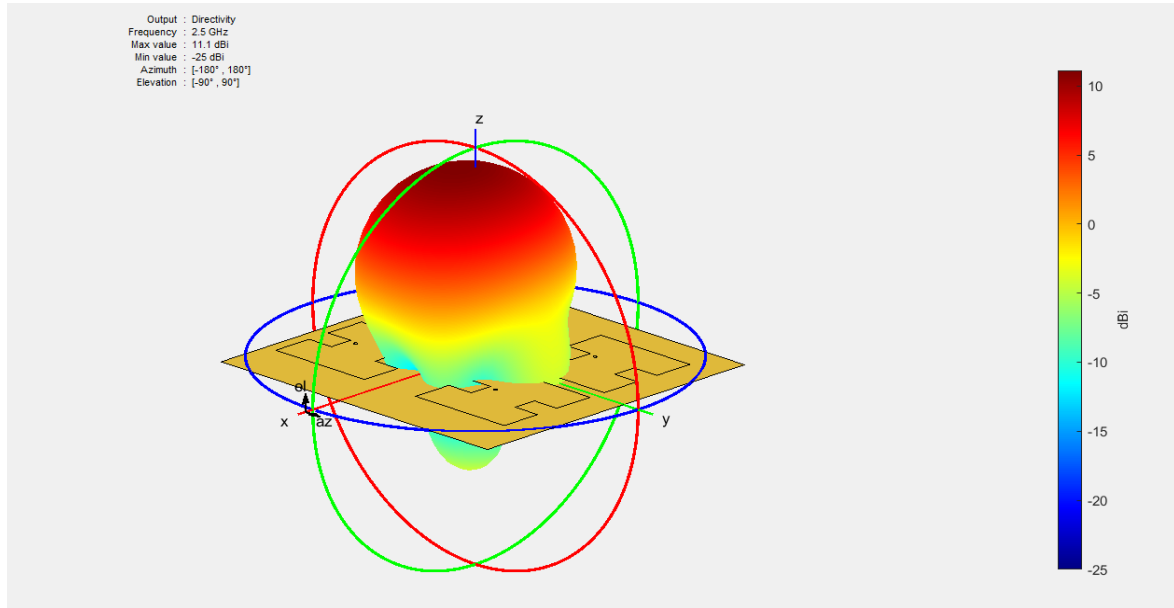


Figure 3. 3D Radiation pattern of a 4-element H-Shape microstrip antenna array.

A total of 20 iterations are run. The total amplitude of the elements before optimization is 4 V. The amplitude values obtained for the elements after optimization are given in Table 1.

Table 1. Amplitude values in a 4-element microstrip antenna array after optimization.

Antenna Element	Amplitude(V)
1	0.49020 V
2	0.46000 V
3	0.83866 V
4	0.36043 V

While it had a total amplitude value of 4V before the optimization, it had an amplitude value of 2.14929 V after the optimization, and a gain of about 42% is obtained. S11 parameter shows the reflectance value of the antenna. As the reflection decreases, the losses in the antenna will decrease and it will be more efficient. The value of the

S11 parameter is considered good when it is below 10 dB in the literature. Because 10 dB represents a 10% power loss. Antennas with power loss up to 10% are the antennas with the desired reflection coefficient in the literature. Values of S-Parameter for 4 element H-Shape antenna are given in the Table 2.

Table 2. 4-Element H-Shape microstrip antenna array S-Parameter values.

	Magnitude (dB)
S11	-2.99899
S21	-28.4212

The S21 parameter, on the other hand, is known as the transmission parameter, and it means that the transmission decreases the more you minimize, the better transmission is maximized. The transmission coefficient of the 4-element H-Shape microstrip antenna array designed by SADEA is -28.421 dB, showing high transmission performance. Correlation coefficient in microstrip antenna is a parameter that measures the communication performance of the antenna and expresses the compatibility and signal transmission between antennas. A high correlation coefficient is considered value because it means that the transmitted signal is correctly detected by the receiving antenna. However, a desired value depends on specific application requirements and standards and must therefore be above a certain threshold. In a study by Cohen J., this threshold value is accepted as good values above 0.5 [1]. The Figure 4 shows the correlation coefficient between each element.

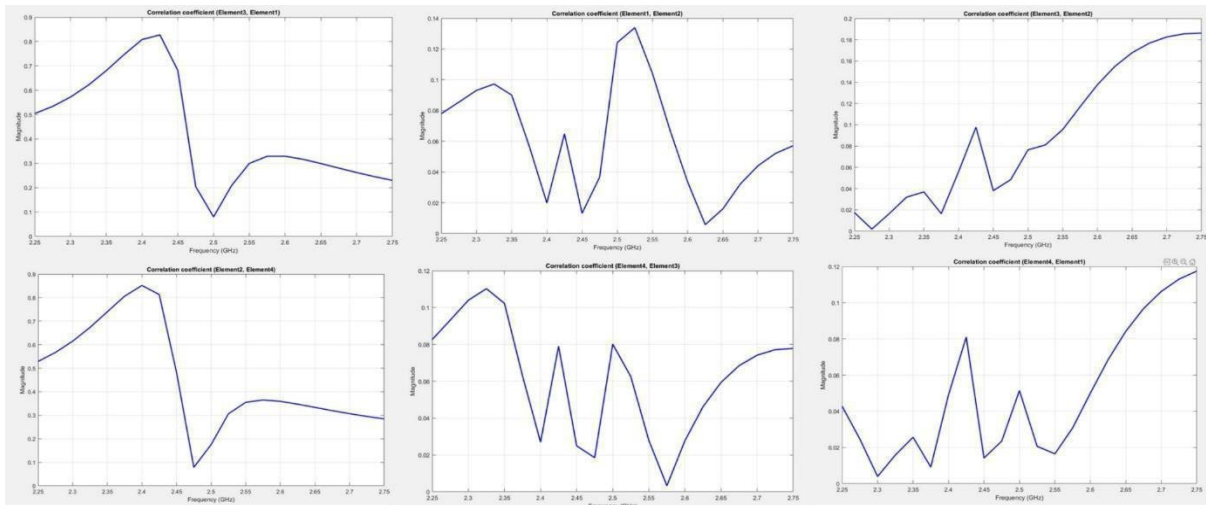


Figure 4. Correlation coefficient between antenna elements for 4 elements H-Shape microstrip antenna.

The reflectance values of each element against each other are different. However, when examined in general, it is seen that they have better reflectance values in the 2.3-2.55 GHz range. Since it is desired to operate the microstrip antenna array with 4 elements, which are calculated to be operated in Wi-Fi applications, at 2.5 GHz, it has been analyzed that it will be a suitable antenna for the application.

4.2. Case 2: 4-Element Microstrip E-Shape Antenna Array

Microstrip antennas are known for their high performance, low cost and easy installation. E-Shape microstrip antennas have shown better performance than normal microstrip antenna arrays in different studies. In this section, a 4 element E-Shape microstrip antenna array is designed and its performance parameters are analyzed. The inter-element distance values before optimization are 0.059958 mm for both rows and columns. After optimization, these values are 0.069192 mm for row spacing and 0.095527 mm for column spacing. The Figure 5 shows the 3D radiation pattern of this array.

A total of twenty iterations are performed. In addition, the amplitude value given to each element is optimized by giving it in V. Before optimization, each element is built with a total amplitude of 1 V. The amplitude values for the elements after optimization are shown Table 3.

While it had a total amplitude value of 4 V before the optimization, it had an amplitude value of 2.45885 V after the optimization, and a gain of about 38.5% is obtained. The values of the S-Parameter are given in the Table 4.

Table 3. Amplitude values in a 4-element E-Shape microstrip antenna array after optimization

Antenna Element	Amplitude(V)
1	0.45884 V
2	0.62346 V
3	0.43362 V
4	0.94293 V

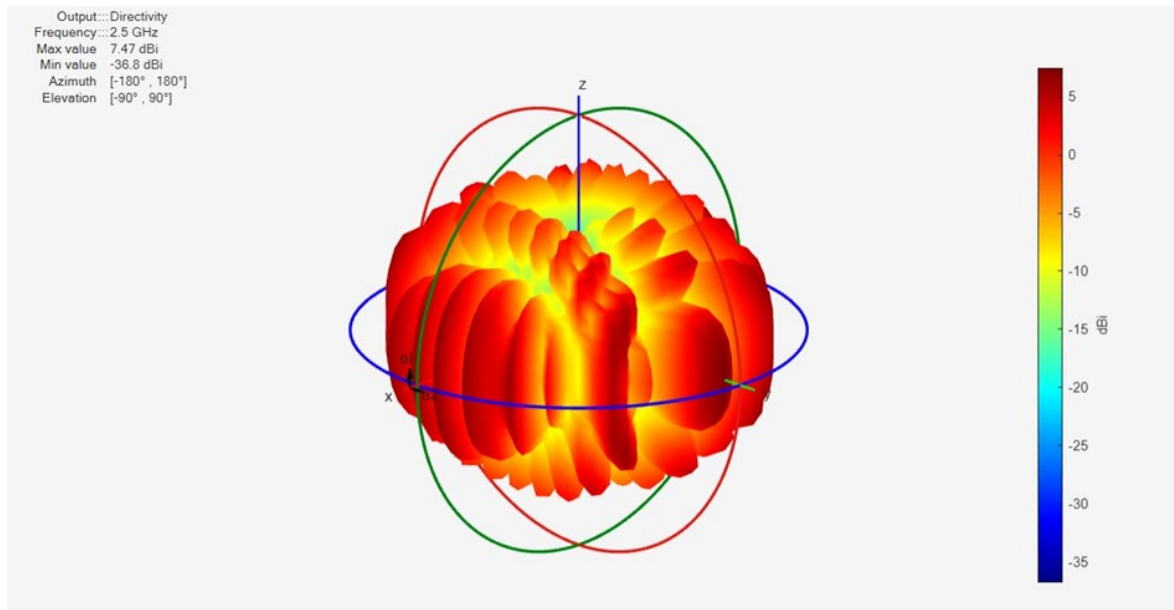


Figure 5. 3D Radiation pattern of a 4-element E-Shape microstrip antenna array.

Table 4. 4-element E-Shape microstrip antenna array S-Parameter values

	Magnitude (dB)
S11	-14.9429
S21	-31.9391

SADEA's 4-element E-Shape microstrip antenna array has a transmission coefficient of -31.9391 dB, indicating transmission performance. The correlation coefficient in a microstrip antenna is a parameter that measures the communication performance of the antenna and expresses the compatibility and signal transmission between antennas. However, the desirable value depends on specific application requirements and standards and therefore must be above a certain threshold. Figure 6 indicates the correlation coefficient between each element.

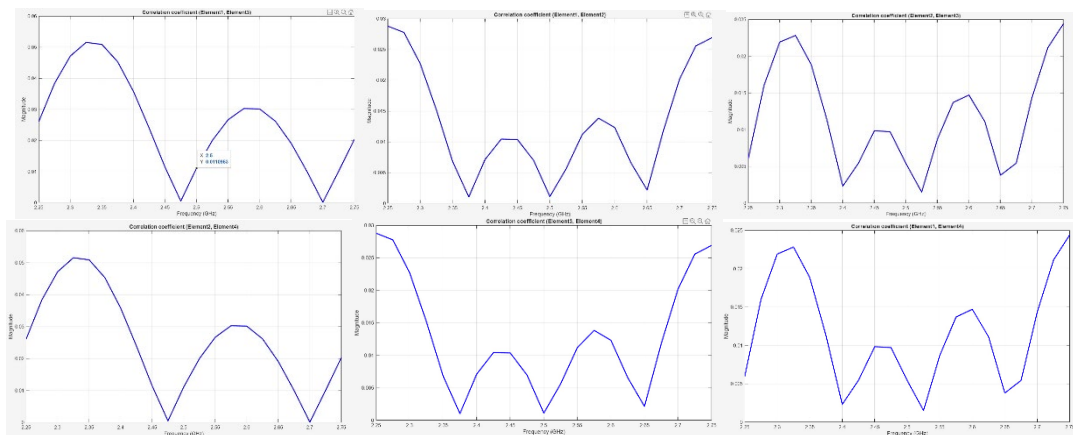


Figure 6. Correlation coefficient between antenna elements for 4 elements E-Shape microstrip antenna.

The reflectance values of each element against each other are different. However, when examined in general, it is seen that they have better reflectance values in the 2.4-2.55 GHz range. Since it is desired to operate the microstrip antenna array with 4 elements, which are calculated to be operated in Wi-Fi applications, at 2.5 GHz, it has been analyzed that it will be a suitable antenna for the application.

5. CONCLUSION

In this study, 4-element E-Shape and H-Shape microstrip antenna arrays are optimized using artificial intelligence techniques. The antenna array designed in the MATLAB antenna array designer tool is constructed using SADEA. The default value for the material is PEC. For the design problem, the FR4 substrate, which is readily available on the market, is preferred. The loss tangent ($\delta=0.020$), relative dielectric constant ($\epsilon_r=4.40$), insulator plate height ($h=1.5750$ mm) and conductor thickness ($t=0.0350$ mm) of FR4 material are planned. The total amplitude of the 4-element E-Shape and H-Shape microstrip antenna array is reduced from 4V before optimization to 2.45885 V and 2.14929 V after optimization, respectively. The distance values between the elements before optimization are

0.059958 mm for both rows and columns. After optimization, these values are 0.069192 mm for row spacing and 0.095527 mm for column spacing. After optimization, these values are 0.60001 mm and 0.069192 mm for E-Shape and H-Shape respectively, 0.24911 mm and 0.095527 mm for row spacing values and 0.24911 mm and 0.095527 mm for column spacing. There is a 68% minimization for the former and a 92% growth for the H-Shape. The gain for the four-element E-Shape and H-Shape antenna arrays is -20.9 dB and -36.9 dB. The results show that the size of the E-shape antenna is minimized compared to the H-Shape antenna and higher gain is achieved with smaller dimensions. In addition, the E-Shape antenna occupies about one fourth of the area compared to the H-shape, consumes 15% more V and provides more than 50% more gain. Considering these data, the E-Shape antenna is generally more efficient than the H-shape antenna and can be produced at cheaper costs in the production phase since it will occupy less area in the production phase. Therefore, it is concluded that E-Shape antenna is more efficient than H-Shape antenna. The results of the E-Shape antenna array design study will ensure that microstrip antenna arrays will continue to be an important design element for communication systems and will shed light on future work.

Author's Contribution

Ali Durmuş and Zafer Yıldırım contributed to the implementation of the research, coding, analysis of the result, and writing.

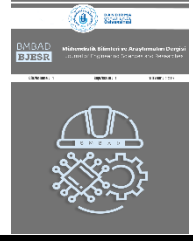
Statement of Conflict of Interest

The authors have declared no conflict of interest

REFERENCE

- [1] J. Cohen, "Statistical power analysis for the behavioral sciences" Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- [2] M. Ikram, K. Sultan, M.F. Lateef, and A.S. Alqadami, "A road towards 6G communication: A review of 5G antennas, arrays, and wearable devices", Electronics, vol. 11, no. 1, pp. 169, 2022.
- [3] A. Durmus, and R. Kurban, "Optimal synthesis of concentric circular antenna arrays using political optimizer", IETE Journal of Research, vol. 68, no. 1, pp. 768-777, 2022.
- [4] S. Al-Zoubi, A. Amaireh, and N. Dib, "Comparative and comprehensive study of linear antenna arrays' synthesis", International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), vol. 12, no.3, pp. 2645-2654, 2022.
- [5] N. Krishna, and K. G. Padmasine, "A review on microwave band pass filters: Materials and design optimization techniques for wireless communication systems", Materials Science in Semiconductor Processing, 2023.
- [6] S.M. El-Kenawy, S. Mirjalili, F. Alassery, Y.D. Zhang, M.M. Eid, S.Y. El-Mashad, and A.A. Abdelhamid, "Novel meta-heuristic algorithm for feature selection, unconstrained functions, and engineering problems", IEEE Access, vol 10, pp. 40536-40555, 2022.
- [7] S. Srivastava, A. Verma, P. Yadav and A. Singh, "A Novel H-Shaped Microstrip Patch Antenna Array for Automotive Radar Applications", 2022 3rd URSI Atlantic and Asia Pacific Radio Science Meeting (AT-AP-RASC), Gran Canaria, Spain, pp. 1-3, 2022.
- [8] H.F. Jia, Y. Guo-Hui, L. Min, W. Qun and L. Le-Wei, "The research of H-shaped coupling slot microstrip antenna array", 2008 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology, Nanjing, China, pp. 1234-1237, 2008.
- [9] U. Bülent, and Y. Cengiz, "H şekilli mikroşerit antenin yabancı ot algoritması ile rezonans frekansının belirlenmesi", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, vol. 16, no.48, pp. 109-117, 2014.
- [10] A.A. Deshmukh, and V.A. Chavali, "Compact wideband microstrip antennas using C, H, and W-shape ground plane for GSM band applications", Microwave and Optical Technology Letters, 2023.
- [11] A. Madankar, V. Chakole, and S. Khade, "H-slot microstrip patch antenna for 5G WLAN application", In 2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS) IEEE, pp. 1142-1144, 2020.
- [12] A. Jafarieh, M. Nouri, and H. Behroozi, "Optimized 5G-MMW compact Yagi-Uda antenna based on machine learning methodology" In 2021 29th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), pp. 751-756, IEEE, 2021.
- [13] A.M. Montaser, "Beam-Steering for Narrow Beamwidth 120GHz Antenna Array Using Deep Learning for Radar Application", Progress in Electromagnetics Research C, vol. 129, 2023.
- [14] R. Tiwari, R. Sharma, and R. Dubey, "2X2 & 4X4 dumbbell shape microstrip patch antenna array design for 5G Wi-Fi communication application", Materials Today: Proceedings, 2023.
- [15] M.B. Almashtah, O.A. Al-Ani, A. M. Sabaawi, M.A. Altaee, N.J. Hussein, and F.A. Abdelreda, "Design of multi-band slotted mmwave antenna for 5G mobile applications. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering", IOP Publishing, vol. 881, no. 1, pp. 012150, 2020.
- [16] M.S. Rana, and M.M. Rahman, "Study of microstrip patch antenna for wireless communication system", In 2022 International Conference for Advancement in Technology (ICONAT), IEEE, pp. 1-4, 2022.

- [17] A.J.A. Al-Gburi, Z. Zakaria, I.M. Ibrahim, and E.B.A. Halim, "Microstrip patch antenna arrays design for 5G wireless backhaul application at 3.5 GHz", In *Recent Advances in Electrical and Electronic Engineering and Computer Science: Selected articles from ICCEE 2021, Malaysia*. Singapore: Springer Singapore, pp. 77-88, 2022.
- [18] N.H. Biddut, M.E. Haque, and N. Jahan, "A wide band microstrip patch antenna design using multiple slots at v-band", In *2022 International Mobile and Embedded Technology Conference (MECON)*, IEEE, pp. 113-116, 2022.
- [19] K. Pauliah Nadar, V. Jeyaprakasam, I. Tharcis Mariapushpam, C.V. Vivekanand, A.D. Eswaralingam, M.T. Louis, and S. Gopalakrishnan, "Design and Analysis of Microstrip Patch Antenna Array and Electronic Beam Steering Linear Phased Antenna Array with High Directivity for Space Applications" *ACS omega*, vol. 8, no.45, pp. 43197-43217, 2023
- [20] R.M. González, L.M. Peralta, and R.L. Miranda, "Microstrip patch antenna array design for WLAN application", In *2015 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*, IEEE, pp. 1-5, 2015.
- [21] S. Gupta, S. Chauhan, R. Srivastava, and A. Gupta, "Comparison of Different Alphabetically Shaped Microstrip Patch Antennas in the S-Band Using HFSS", In the *International Conference on Recent Trends in Communication & Intelligent Systems* pp. 201-212, 2023. Singapore: Springer Nature
- Singapore.
- [22] J.H. Chen, C.Y. Cheng, C.M. Chien, C. Yuangyai, T.H. Chen, and S.T. Chen, "Multiple performance optimization for microstrip patch antenna improvement", *Sensors*, vol. 23, no.9, pp. 4278, 2023.
- [23] P. Shanthi, and W.C. Song, "Deep Learning Approach for Radiation Pattern Synthesis of an Antenna", In *2022 6th International Conference on Computation System and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS)*, IEEE, pp. 1-5, 2022.
- [24] B. Liu, Z. Qingfu, and G.E.G. Georges, "A Gaussian Process Surrogate Model Assisted Evolutionary Algorithm for Medium Scale Expensive Optimization Problems", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 18, vol. 2, pp. 180-92, 2014.
- [25] J. Zhang, M.O. Akinsolu, B. Liu and G.A. Vandenbosch, "Automatic AI-driven design of mutual coupling reducing topologies for frequency reconfigurable antenna arrays", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 69, no.3, pp. 1831-1836, 2020.
- [26] G.P. Reddy, G. Manoj, V.P.C. Rao and B.R. Behera, "A Design Methodology for Optimization of Printed Antenna Based on AI-Driven SADEA Technique" *2023 International Conference on Recent Advances in Electrical, Electronics, Ubiquitous Communication, and Computational Intelligence (RAEEUCCI)*, Chennai, India, pp. 1-4, 2023.



Bandwidth Enhancement of a D-Crescent-Shaped Monopole Patch Antenna for Wireless Applications

Kablosuz Uygulamalar için D-Hilal Şekilli Tek Kutuplu Yama Anteninin Bant Genişliğinin Artırılması

¹Cem GÜLER , ²Sena Esen BAYER KESKİN 

¹Kırklareli University, Department of Lüleburgaz Faculty of Aeronautics and Astronautics, Kırklareli, Türkiye

²Kırklareli University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Kırklareli, Türkiye

¹cemguler@klu.edu.tr, ²senakeskin@klu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 27 February 2024

Accepted : 28 March 2024

Keywords:

Patch Antenna, ISM Band, Bandwidth, Return Loss

ABSTRACT

A low-profile monopole patch antenna is proposed for wireless communication purposes, covering PCS1900, UMTS, LTE2300, LTE2500, ISM, and WLAN bands. The antenna features a novel double-crescent-shaped (D-Crescent-Shaped) patch with a partial ground plane to enhance bandwidth. Resonating at 2.4 GHz for ISM applications, the antenna, constructed on FR-4 dielectric, exhibits a proportional bandwidth of 38%, covering 1.91 GHz to 2.81 GHz. The design achieves a low-profile configuration with dimensions of 36.88×44.85 mm², featuring a thickness of 1.6 mm. The proposed antenna has a return loss of -56.1 dB and a directivity gain of 2.21 dBi. The proposed antenna, with its low-profile design, ease of manufacturing, and improved bandwidth and return loss, is well-suited for wireless communication applications across widely-used frequency ranges like PCS, UMTS, LTE2300, LTE2500, ISM, Wi-Fi, Bluetooth, and 4G LTE.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 27 Şubat 2024

Kabul : 28 Mart 2024

Anahtar Kelimeler:

Yama Anten, ISM Bandı, Genişliği, Geri Dönüş Kaybı

ÖZET

Bu çalışmada, çok yönlü kablosuz iletişim uygulamaları için PCS1900, UMTS, LTE2300, LTE2500, ISM ve WLAN bantlarını kapsayan düşük profilli bir mikroşerit yama anten önerilmektedir. Anten, bant genişliğini artırmak amacıyla kısmi bir toprak düzlemine sahip yeni bir çift hilal şekilli (D-Hilal Şekilli) yamaya sahip olacak biçimde tasarlanmıştır. ISM uygulamaları için 2,4 GHz'de rezonansa giren ve FR-4 dielektrik malzeme üzerine inşa edilen anten, 1,91 GHz ila 2,81 GHz'i kapsayan %38'lik oransal bant genişliği sergilemektedir. Tasarım, 36,88×44,85 mm² boyutları ve 1,6 mm kalınlığı ile düşük profile sahip bir konfigürasyondan oluşmaktadır. Antenin geri dönüş kaybı -56,1 dB ve yönlülük kazancı 2,21 dBi'dir. Önerilen anten, düşük profilli tasarımı, üretim kolaylığı ve gelişmiş bant genişliği ve geri dönüş kaybı ile PCS, UMTS, LTE2300, LTE2500, ISM, Wi-Fi, Bluetooth ve 4G LTE gibi yaygın olarak kullanılan frekans aralıklarında kablosuz iletişim uygulamaları için çok uygundur.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. INTRODUCTION

Wireless communication systems have become indispensable in various areas, aiming to facilitate our lives in recent years. Particularly in domains such as smart home systems, autonomous vehicles, and healthcare applications, they play a significant role due to their ability to be easily integrated into mobile devices, providing extensive coverage, ensuring communication security, and enhancing efficiency. Communication systems have various frequency bands to optimize communication performance and improve user experience. Among these bands, Personal Communications Service (PCS), Universal Mobile Communication System (UMTS), LTE2300, LTE2500, Industrial, Scientific and Medical (ISM), Wi-Fi, Bluetooth, and 4G LTE are the most used frequency bands [1,3]. Considering the wide frequency bands used for wireless communication, it is crucial for adequately designed antennas to operate effectively and optimize signal quality. Antennas perform essential functions such as transmitting, receiving, and directing signals, thereby influencing the performance of wireless devices [4]. Different types of antennas can be found in the literature when wide frequency bands are used for wireless communication. This variety includes antenna designs specifically created to fulfill different application needs. Examples of these antenna types include Yagi antennas [5,6], dipole antennas [7,8], spiral antennas [9,10], helical antennas [11], horn antennas [12,14], and microstrip patch antennas [15,17]. Microstrip patch antennas are favored in antenna design due to their advantageous characteristics such as cost-effectiveness, lightweight construction, ease of integration, and energy efficiency. Nonetheless, they are also subject to certain limitations [18]. For instance, limitations exist regarding limited bandwidth and directivity gain. Under certain circumstances, these drawbacks may limit the performance of communication and result in physical limitations such as antenna size. To improve directivity gain, expand bandwidth, and boost patch antenna efficiency, research and development are therefore continuing. Among various techniques employed to improve patch antenna bandwidth, increasing the thickness of the dielectric layer or reducing the dielectric constant is a common approach. However, these methods yield only a modest 10% increase in bandwidth, necessitating alternative techniques [19-20]. Additionally, feeding techniques also impact the bandwidth of microstrip patch antennas. A study found that the aperture-coupled feeding method resulted in the highest bandwidth, followed by proximity feeding, microstrip feeding, and finally, coaxial feeding [21]. Because of its ease of feeding compatibility and suitability for low-profile designs, microstrip feeding is chosen in this investigation. Using a shorting pin is an additional technique for expanding bandwidth. When a $50 \times 50 \text{ mm}^2$ circular microstrip patch antenna with a shorting pin was used, the bandwidth was increased by an astounding 135%. As a result, the bandwidth was attained at 171.4 MHz with a -27.96 dB return loss. Furthermore, the antenna design produced a 0.6502 dBi directivity gain [22]. However, using a shorting pin introduces additional production challenges and costs. Another method involves using a Near Zero Index Metamaterial, which increased the bandwidth by 90 MHz in a study conducted in 2022 [23]. However, the use of metamaterials introduces frequency dependence and manufacturing difficulties. A rectangular microstrip patch antenna, which operates at a resonance frequency of 2.39 GHz inside the S-band, is another antenna that has been discussed in the literature. With measurements of $75.85 \times 7.23 \times 1.6 \text{ mm}^3$, it is made of FR-4 material. A bandwidth of 58 MHz and a return loss of -38.86 dB were achieved by this design [24]. Another study presented a rectangular microstrip patch antenna on an FR-4 material with $76 \times 59 \times 1.6 \text{ mm}^3$ dimensions. With a frequency centering at 2.4 GHz, the antenna displayed a proportional bandwidth of 2.91%. The antenna used a partial ground plane with a directivity gain of 4.7 dBi to obtain a return loss of -44.78 dB [25]. In 2023, a study was carried out to build a circular microstrip patch antenna with dimensions of $80 \times 80 \times 1.6 \text{ mm}^3$ with FR-4 material. The antenna was specifically developed to operate at a resonance frequency of 2.36 GHz. Through extensive testing and analysis, the antenna demonstrated impressive performance characteristics. The antenna demonstrated a return loss of -25.72 dB, suggesting effective power transmission between the feed line and the antenna. Moreover, it attained a commendable bandwidth of 48 MHz, enabling the transmission and reception of a broad spectrum of frequencies [26]. For S-band applications, a planar inverted F antenna (PIFA) was presented in another study. With a bandwidth of 301 MHz between 2.202 GHz and 2.504 GHz, the suggested antenna obtained a return loss of -21 dB. The antenna was $140 \times 70 \times 1.365 \text{ mm}^2$ and had a directivity gain of 5.62 dBi [27]. In a study conducted in 2023, a triangular microstrip patch antenna design composed of a $49 \times 45 \text{ mm}^2$ patch on an RT/Duroid 5880 substrate was presented. The antenna exhibited electrical characteristics such as a bandwidth of 64.5 MHz, a return loss of 1.39 VSWR, and an antenna gain of 4.77 dB [28]. Partial ground plane usage for microstrip patch antennas enables increased bandwidth, improved efficiency, and easy integration with integrated circuits [29-30]. This paper introduces a microstrip-fed planar single-polarized antenna with a low-profile structure that can effectively support multiple mobile wireless standards, providing good return loss below -56.1 dB at a central resonance frequency of 2.4 GHz and seamless communication capability between 1.91 GHz and 2.81 GHz. A partial ground plane is preferred as a bandwidth enhancement method. The antenna design is subjected to simulation, fabrication, and testing to assess its performance against simulated outcomes. Both numerical analysis and practical experimentation are employed to evaluate the efficacy of the antenna design.

2. ANTENNA DESIGN

The proposed antenna operates at a frequency of 2.4 GHz, adhering to IEEE 802.11 b/g/n standards, and covers various frequency bands including PCS, between 1.85–1.99 GHz, UMTS ranging from 1.92-2.17 GHz, LTE2300

from 2300-2400MHz, LTE2500 spanning 2500-2690MHz, ISM covering 2.40-2.485 GHz, as well as Wi-Fi, Bluetooth, and 4G LTE. The proposed antenna is fabricated using FR-4 material, characterized by a relative dielectric constant (ϵ_r) of 4.3 and a loss tangent ($\tan \delta$) of 0.02. The antenna dimensions are 36.88x44.85 mm² with a thickness of 1.6 mm. Choosing FR-4 dielectric material ensures cost-effectiveness and extensive industrial applicability. The antenna configuration comprises a microstrip feed line, a patch formed by the intersection of two mirror-image replacement structures on the front face, and a partial ground plane. The patch and front face are shown in detail in Figure 1 (Figure 1a), and the length of the partial ground plane on the back is shown in Figure 1b.

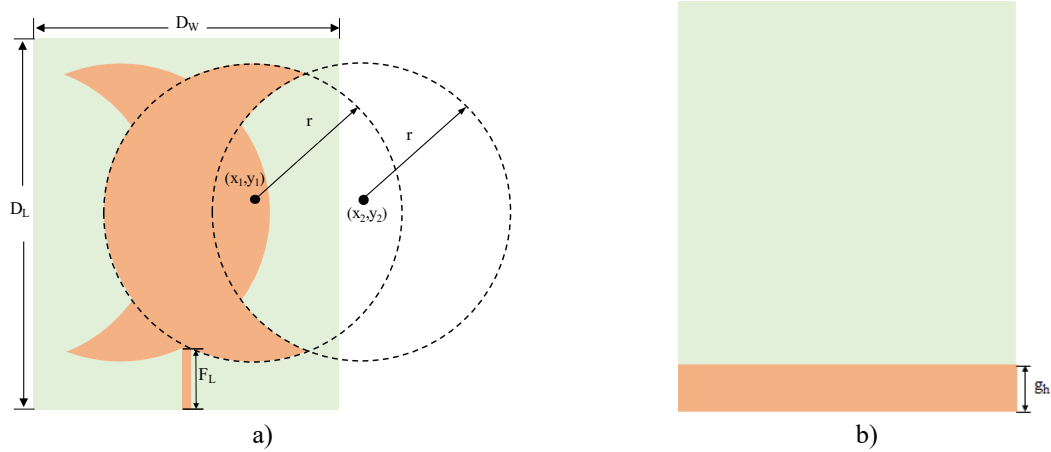


Figure 1. Proposed antenna length parameter values a) Top view, b) Bottom view.

In this study, the crescent shape is derived through the geometric intersection of two circles, each centered at distinct coordinates, denoted as (x_1, y_1) and (x_2, y_2) . The crescent shape emerges as the outcome of the overlapping area shared by these two circles as shown in Figure 1a. Subsequently, a mirror-image transformation is applied to this initial crescent shape, followed by an overlapping procedure, resulting in the creation of the D-Crescent-Shape patch geometry. The microstrip antenna's upper face is made up of a feeding line and a patch that are intended to match an impedance of 50 ohms. The lengths of the radiating patch optimization graphs for the designed antenna are presented in Figure 2. The optimization of the radius (r) of the circles centered at (x_1, y_1) and (x_2, y_2) forming the crescent patch shape, is illustrated in Figure 2a to enable radiation at 2.4 GHz. A partial ground plane is utilized in the antenna design. Figure 2b demonstrates the optimization of the ground surface height (g_h), conducted to enhance the microstrip patch antenna's performance within the 2.4 GHz ISM band. This optimization process focused on improving impedance matching, radiation pattern, and overall antenna efficiency by carefully adjusting the ground plane's height. To satisfy the demands of wireless communication applications across the industrial, scientific, and medical domains, it was necessary to optimize the antenna's performance and ensure effective operation within the designated frequency band. The antenna's transmission line and the partially ground plane are soldered with a SMA connector to enable measurement.

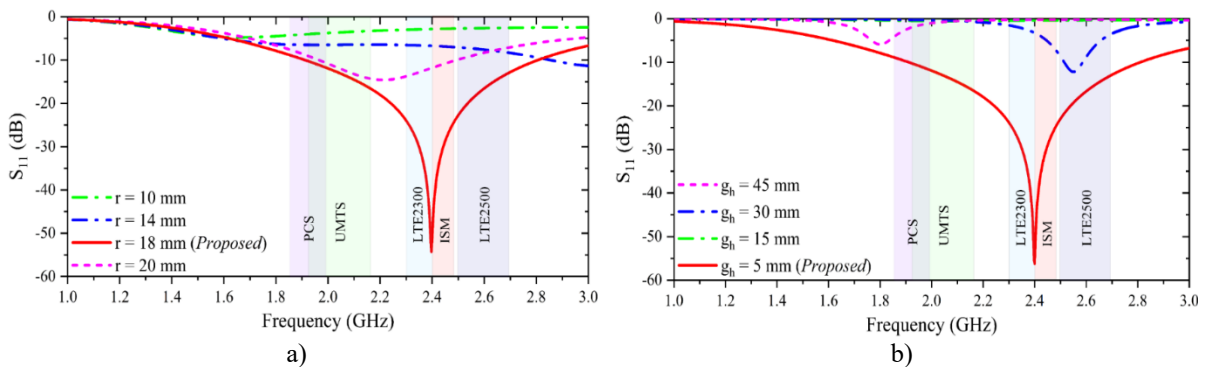


Figure 2. Optimization of the designed antenna a) radius (r), b) ground plane height (g_h).

The antenna's length measurements are shown in Table 1.

3. RESULT AND DISCUSSION

This section includes both computational and experimental analysis of the proposed d-crescent-shaped monopole patch antenna. The CST Microwave Studio program yielded the antenna's performance parameters, which are given. The measurements of the S_{11} reflection coefficients of the fabricated patch antenna are conducted by using

E5063A Vector Network Analyzer. The S_{11} parameter is a crucial statistic that verifies the antenna's efficient operation. Figure 3 shows the results of the proposed antenna simulation and measurements.

Table 1. Proposed antenna physical dimensions

Parameters	Size(mm)	Parameters	Size(mm)
D_L	44.85	r	18
D_W	36.88	(x_1, y_1)	(8,1.42)
F_L	7.47	(x_2, y_2)	(21.3,1.42)
g_h	5		

The antenna reaches 900 MHz in bandwidth. The measurement of an antenna's efficiency in transmitting an RF signal to its intended recipient is called return loss or reflection coefficient. The antenna being studied demonstrates a return loss of -56.1 dB. With only slight discrepancies likely stemming from manufacturing imperfections in the prototype, the experimental data closely align with the expected outcomes.

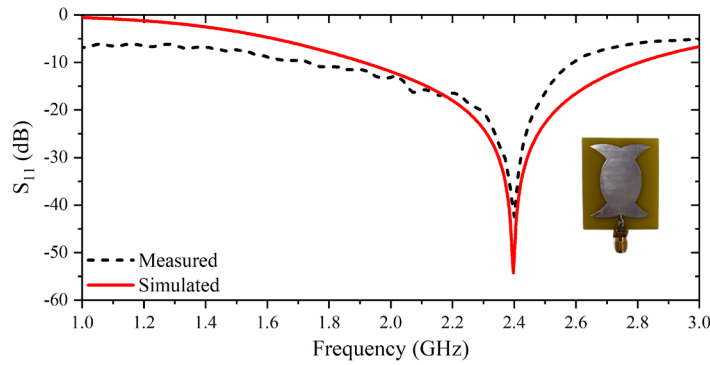


Figure 3. Reflection coefficient of the antenna.

A metric called "directivity" is used to measure how much energy an antenna emits in a certain direction. The ratio of the intensity in the direction of highest radiation to the average intensity distributed over all directions is what it represents. Based on simulation results, the directivity gain graph of the antenna constructed in this work is shown in Figure 4, which is shown in three dimensions at the central frequency. According to the collected results, the suggested antenna at 2.4 GHz achieves a directivity gain of 2.21 dBi.

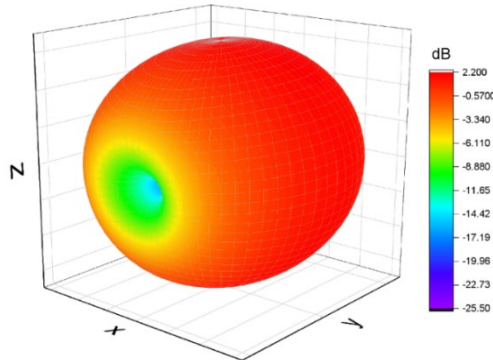


Figure 4. 3D directivity gain graph at center frequency of the proposed antenna.

A radiation model is a graphical representation of the way electromagnetic radiation propagates through space. This model shows the varying signal strength of the antenna in different directions. Figure 5 shows the simulated radiation characteristic of the D-crescent shaped antenna for $\phi=0^\circ$ and $\phi=90^\circ$. In case of $\phi=0$, half power beamwidth (HPBW) is determined as 68.4° , while in case of $\phi=90$, it is determined as 86.5° .

At the 2.4 GHz resonance frequency, the maximum surface current amplitude of the planned antenna, as indicated in Figure 6, is 32.7 dB (A/m). Concentrations of surface currents are seen along the patch's borders and where it meets the feed line. These results show that the antenna's surface current distribution satisfies the design goals and performs well at the targeted frequency.

The proposed antenna's gain variation with respect to frequency is depicted in Figure 7. At the 2.4 GHz resonance frequency, the design produces 2.21 dBi gain. The directionality gain value fluctuates between 2.17 dBi and 2.69 dBi in the region between $S_{11} < -10\text{dB}$ and 1.91 GHz to 2.81 GHz, as shown in Figure 7. The data indicates that the antenna performs well in terms of directivity at the center frequency and has potential uses in wireless communication.

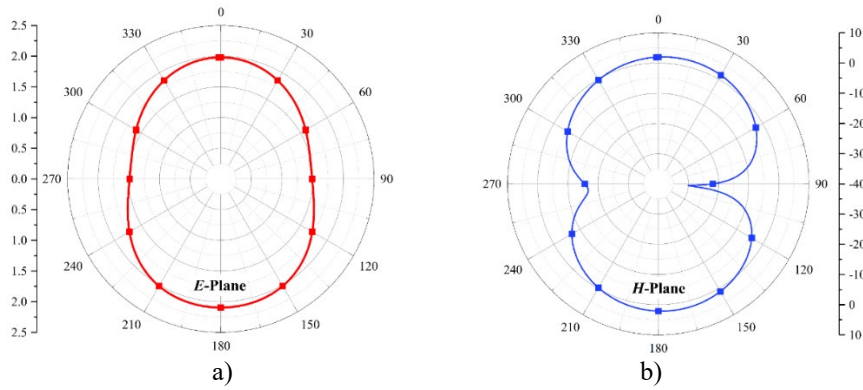


Figure 5. 2D graph of the proposed antenna radiation pattern. a) E - plane a) H – plane.

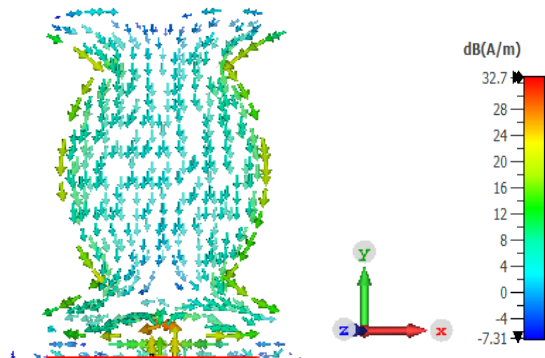


Figure 6. Surface current distribution of the proposed antenna.

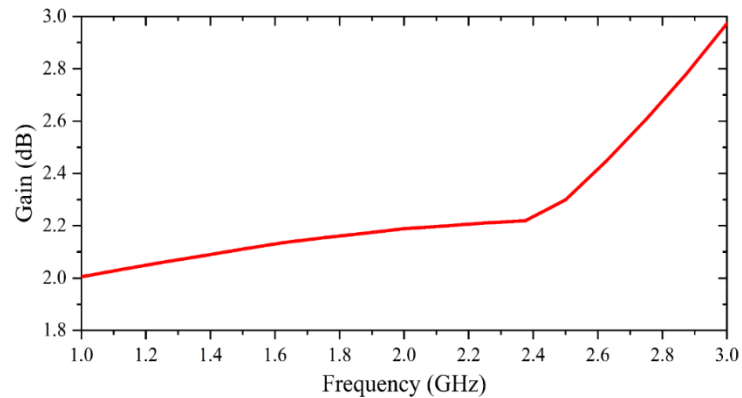


Figure 7. Directivity-gain of the antenna.

The efficiency of the proposed antenna in transmitting radio frequency signals is evaluated through the Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), depicting the impedance mismatch between the antenna and the transmission line. Figure 8 illustrates the frequency-dependent VSWR graph, revealing a value of 1.008 within the 2.4 GHz center frequency band. This result indicates the performance of the antenna at the central frequency, underlines its suitability for efficient deployment in wireless communication applications.

Table 2 presents a comparison of the antenna with the literature from the studies conducted at the 2.4 GHz band. The table shows that the suggested reference antenna provides better values than research in the following areas found in published literature. Alternatively, the study that is being offered shows an antenna that is much smaller, measuring only $36.88 \times 44.85 \times 1.6 \text{ mm}^3$. It achieves an impressive 56.1 dB return loss, 900 MHz bandwidth at 2.4 GHz, and 2.21 dBi gain. This significant reduction in size and frequency operation demonstrates the potential for compact and efficient antenna design in high-frequency applications. Its small size and efficiency make it suitable for integration into wireless sensor networks (WSNs) for environmental monitoring and industrial automation, as well as Internet of Things (IoT) devices for smart homes and industrial applications. Furthermore, its potential integration into smartphones, tablets, and portable devices could enhance wireless connectivity for everyday communication and location-based services.

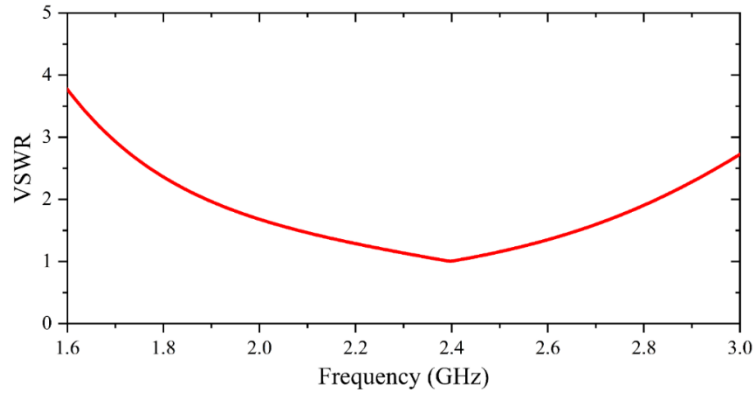


Figure 8. VSWR graph showing the standing wave ratio of the antenna.

Table 2. Analyzing the proposed antenna in relation to previous research

Ref.	Res. Freq	Antenna dim. (mm ³)	Bandwidth	Return loss (dB)	Direc. Gain (dBi)
[24]	2.4	75.85×57.23×1.6	58 MHz	-38.86	6.8 dBi
[25]	2.4	76×59×1.6	70 MHz	-44.78	4.702 dBi
[26]	2.36	80×80×1.6	48 MHz	-25.72	2.97 dBi
[27]	2.35	140×70×1.365	301 MHz	-21.875	5.62 dBi
[28]	2.4	49×45×1.575	64.5 MHz	-15.7	4.77 dB
This Work	2.4	36.88×44.85×1.6	900 MHz	-56.1	2.21 dBi

4. CONCLUSION

The growing need for next-generation antennas with high bandwidth, low profile, and affordability has resulted in substantial advancements in wireless and mobile communication, as this study demonstrates. This increase in demand extends to commonly utilized frequency ranges including 4G LTE, Wi-Fi, Bluetooth, ISM, PCS, UMTS, LTE2300, and LTE2500. Improving the bandwidth and return loss of a low-profile antenna is the primary goal of this research project. To do this, a novel patch geometry with a partial ground plane is introduced. The proposed antenna, which is made with a 1.6 mm FR-4 dielectric substrate, shows a center frequency of 2.4 GHz and a broad bandwidth of 38%. It can operate between 1.91 GHz and 2.81 GHz. The antenna also exhibits a gain of 2.21 dBi and a reflection coefficient of -56.1 dB. Our suggested design is a good choice for a range of wireless communication system applications because of its noteworthy qualities, which include high bandwidth, simplicity, and ease of manufacture. The antenna's compact size and efficiency enable its seamless integration into wireless sensor networks (WSNs) designed for environmental monitoring and industrial automation tasks. Similarly, it finds utility in Internet of Things (IoT) devices tailored for smart homes and industrial settings, offering reliable connectivity across various frequency bands. Moreover, its potential inclusion in smartphones, tablets, and portable devices presents opportunities to support wireless connectivity for daily communication needs and location-based services, ensuring across multiple frequency bands.

Author's Contributions:

All authors contributed equally. All authors read and approved the final manuscript.

Statement of Conflict of Interest:

The authors declare that they have no competing interests.

REFERENCES

- [1] A. Ahmad, "Wireless and Mobile Data Networks", New York; New Jersey, USA: Wiley-Interscience, 2008.
- [2] I. Elfergani, A.S. Hussaini, and J. Rodriguez, "Antenna fundamentals for legacy mobile applications and beyond", New York, USA, 2018.
- [3] K.M. Morshed, D.K. Karmokar, and K.P. Esselle, "Antennas for licensed shared access in 5G communications with LTE mid- and high-band coverage," Sensors (Basel), vol. 23, no. 4, 2023.
- [4] C.A. Balanis, "Antenna theory: Analysis and design", Wiley-Interscience, 2014.
- [5] R. Aytekin, M. Tekbaş, and A. Kayabaşı, "Yagi-Uda Dizi Yama Anten Benzetimleri ve Gerçekleştirilmesi," Gerçekleştirilmesi. KMUJENS, vol. 1, pp. 98–107, 2019.
- [6] Z. Zhang, S. Lin, Y. Sun, S. Liao, W. Che, and Q. Xue, "Low-profile shared-structure dual-polarized Yagi-Uda antennas," IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 21, no. 4, pp. 843–847, 2022.

- [7] A.K. Doğan, M. Celep, and S. Ogan, "SAR Ölçümlerinde Kullanılmak Üzere Dipol Anten Yapımı ve Karakterizasyonu," PAJES, vol. 8, pp. 310–313, 2014.
- [8] L. Chang, L.-L. Chen, J.-Q. Zhang, and Z.-Z. Chen, "A compact wideband dipole antenna with wide beamwidth," IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 20, no. 9, pp. 1701–1705, 2021.
- [9] M.H.B. Uçar and E. Uras, "ISM-Bandı Tıbbi Telemetri Uygulamaları için Fare Derisi Ekit Mikroserit Spiral Anten Tasarımı ve In-Vitro Ölçümü," Süleyman demirel üniv. fen bilim. enst. derg., vol. 0, no. 0, p. 10, 2017.
- [10] A. Onate, R. Leon, A.F. Tinoco-S, M. Paredes, and F. Lara, "Archimedean Spiral Antenna in UHF band for Military Applications," IEEE ANDESCON, pp. 1-6, 2022.
- [11] M. Zeain, "Design of helical antenna for next generation wireless communication," Prz. Elektrotech., vol. 1, no. 11, pp. 98–101, 2020.
- [12] C. Shu et al., "A wideband dual-circular-polarization horn antenna for mmWave wireless communications," IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 18, no. 9, pp. 1726–1730, 2019.
- [13] A.Q. Khan, M. Riaz, and A. Bilal, "Various types of antenna with respect to their applications: a review," International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering, vol. 7, no. 3, pp. 1–8, 2016.
- [14] B. Yilmaz, "Design of ultra-wide band, dual-polarized quad ridged horn antenna for obstacle penetrating radar imaging applications," Int. J. Eng. Geosci., pp. 76-86, 2022.
- [15] K.-F. Lee and K.-F. Tong, "Microstrip patch antenna basic characteristics and some recent advances," Proceedings of the IEEE, vol. 7, pp. 2169–2180, 2012.
- [16] I. Singh and V.S. Tripathi, "Micro strip patch antenna and its applications: a survey," Int. J. Comp. Tech. Appl., vol. 2, pp. 1595–1599, 2011.
- [17] M.S. Rana, S.B. Rana, and M.M. Rahman, "Microstrip patch antennas for various applications: a review," Indones J Electr Eng Comput Sci, vol. 3, pp. 1511–1519, 2023.
- [18] E. Yazgan, "Mikroserit Antenler. Department of Electrical and Electronics, Hacettepe University," Ankara, 1987.
- [19] S.A.R. Yazgparizi, Bandwidth enhancement techniques. Microstrip Antennas: Trends in Research on. 2017.
- [20] B. Mishra, R.K. Verma, N. Yashwanth, and R.K. Singh, "A review on microstrip patch antenna parameters of different geometry and bandwidth enhancement techniques," Int. J. Microw. Wirel. Technol., vol. 14, no. 5, pp. 652–673, 2022.
- [21] A. Kumar, J. Kaur, and R. Singh, "Performance analysis of different feeding techniques," International journal of emerging technology and advanced engineering, vol. 3, pp. 884–890, 2013.
- [22] R. Nofendra, R. Hanifah, and R. Fernandez, "The use of shorting pins in bandwidth enhancement of circular patch antenna," AIP Conference Proceedings, vol. 2592, no. 1, 2023.
- [23] S. Sun and Y. Jiang, "A Near Zero Index Metamaterial Designed by Genetic Algorithms for Gain Enhancement of Microstrip Patch Antenna," IEEE MTT-S, vol. 1, pp. 1–3, 2022.
- [24] A.M. Abdulhussein, A.H. Khidhir, and A.A. Naser, "December). 2.4 GHz microstrip patch antenna for S-band wireless communications," in Journal of Physics: Conference Series, vol. 2114, IOP Publishing, 2021.
- [25] A.C. Çakir and C. Şeker, "Design and Simulation of 2.4 GHz Microstrip Antenna," JOMCOM, vol. 2, pp. 30–33, 2021.
- [26] A.H. Khidhir, "Implementation of a circular shape patch antenna at 2.4 GHz for different wireless communications," Iraqi J. Sci., pp. 205–214, 2023.
- [27] R.N. Adel and A.H. Khidhir, "Design of Inverted F-Shape Antenna at 2.35 GHz for S-Band Applications," ANJS, vol. 254, pp. 38–42, 2022.
- [28] Ravikiran, H.K., Jayanth, J., Farheen H. S, N., Yogeesh, G. H. 2.4 GHz miniaturised rectangular MPA with defected ground and patch. IJEAST, 9: 167–170, 2023.
- [29] S.S. Bhatia and N. Sharma, "A Compact Wideband Antenna Using Partial Ground Plane with Truncated Corners, L-Shaped Stubs and Inverted T-Shaped Slots," L-Shaped Stubs and Inverted T-Shaped Slots. PIER M, vol. 97, pp. 133–144, 2020.
- [30] S. Rashid and C.K. Chakrabarty, "Bandwidth enhanced rectangular patch antenna using partial ground plane method for WLAN applications," Putrajaya Campus: UNITEN, vol. 1, pp. 8–9, 2015.



6G Ağlarında Dikdörtgen Yarıklı Kare Yama Antenin Farklı Dielektrik Malzemeler İçin Işıma Karakteristikleri Analizi

Analysis of Radiation Characteristics of a Rectangular Slotted Square Patch Antenna for Different Dielectric Materials at 6G Networks

¹Barış Gürçan HAKANOĞLU

¹Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, 10200 Bandırma/Balıkesir, Türkiye

bhakanoglu@bandirma.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 8 March 2024

Accepted : 19 April 2024

Keywords:

6G, Square Patch Antenna, THz Band, Wireless Communication, Slotted Patch Antenna

ABSTRACT

In this study, square patch antenna designs with 1 THz resonance frequency have been designed for 6G communication systems. Increases in antenna bandwidth have been achieved with rectangular slots etched on the antenna. Thanks to different dielectrics such as arlon, silicone, polyamide and polyimide used in the antenna structure, the responses of the proposed model for different materials at THz frequencies have also been investigated. As a result of the parametric analyses, a decrease in return loss has been observed at certain values of the rectangular slots for the antenna designed using Arlon material, while multi-frequency radiation has been obtained for some values of the rectangular slots in the patch antenna designed using silicone material. The antennas designed with polyamide and polyimide materials are the designs that showed the least variation in bandwidth for the proposed structure.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 8 Mart 2024

Kabul : 19 Nisan 2024

Anahtar Kelimeler:

6G, Kare Yama Anten, THz Bandı, Kablosuz Haberleşme, Yarıklı Yama Anten

ÖZET

Bu çalışmada 6G haberleşme sistemleri için 1 THz rezonans frekansına sahip kare yama anten tasarımları yapılmıştır. Anten üzerine kazınan dikdörtgen şekilli yarıklar ile anten bant genişliğinde artışlar sağlanmıştır. Anten yapısında kullanılan arlon, silikon, poliyamit ve poliyimit gibi farklı dielektrikler sayesinde önerilen modelin THz frekanslarında farklı malzemeler için tepkileri de araştırılmıştır. Yapılan parametrik analizler sonucunda arlon malzemesi kullanılarak tasarlanan anten için dikdörtgen şekilli yarıkların belirli değerlerinde geri dönüş kaybı azalması görülürken silikon malzemesi kullanılarak tasarlanan yama antende dikdörtgen yarıkların bazı değerleri için çoklu frekans ışımaları elde edilmiştir. Poliyamit ve poliyimit malzemeleri ile tasarlanan antenler ise önerilen yapı için bant genişliğinde en az değişiklik gösteren tasarımlar olmuştur.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

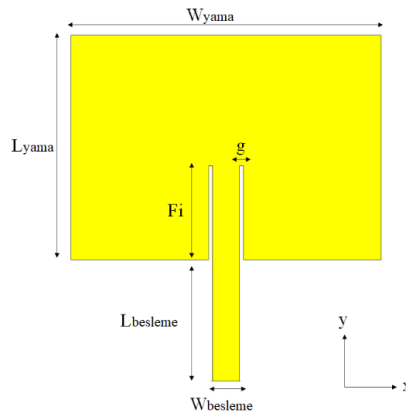
1. GİRİŞ

Gün geçtikçe artan büyüklükte kablosuz veri transferi ihtiyacı, araştırmacıları yeni haberleşme bantlarını kullanmaya zorlamaktadır. Günümüzde beşinci nesil (5G) haberleşme sistemleri ile milimetre dalga bandı kullanılırken 2030'lu yıllarda altıncı nesil (6G) haberleşme sistemleri THz bandının kullanıma girmesini sağlayacaktır [1]. Gelişmiş endüstriyel otomasyon, duyuların iletimi, sağlık teknolojileri ve dijital ikiz gibi çeşitli uygulamalar gigabit seviyesinde veri hızına ihtiyaç duyacak ve bu da THz bandı ile mümkün olacaktır [2]. THz bandı 300 GHz ile 10 THz frekansları aralığını kapsamaktadır [3]. Ayrıca alt THz bandı olarak isimlendirilen 100 GHz ile 300 GHz arası da bu bant içerisine girer [4]. Ek olarak 6G haberleşme bantları 5G haberleşme bantlarından keskin sınırlarla ayrılmayacaktır ve bu frekans bölgelerinin ihtiyaçları için anten tasarımları yine odak noktasında olacaktır. 6G orta band frekansları için önerilen 2.69 GHz ile 20.05 GHz aralığında UWB çalışma gösteren bir yama antene ışyan kısmında bardak şekli verilmiş ve üst kenarın ortasında bir dairesel yarık açılmıştır [5]. Bu sayede %152,8'lik bir kesirli bant genişliği elde edilmiştir. 5G ve 6G haberleşme sistemleri için UWB özellikli bir başka anten ise 23-150 GHz arasında %147,2'lik bir kesirli bant genişliği sergilemiştir [6]. 6G ağlarını kullanan otonom araçlar için yapılan çalışmada ise 77 GHz frekansında yeni ve yüksek kazançlı dış şeklinde bir yama anten tasarlanmıştır [7]. 6G için yama antenlerin tasarlanmasında esnek baskılı devreler de kullanılabilir. Böyle bir örnek WR08 bandı olarak da adlandırılan 90-140 GHz bandı için önerilmiştir [8]. THz bandı aşırı yüksek bir frekans bölgesi olduğundan bu aralıktaki malzeme davranışları mikrodalga frekans bölgesinden farklı olacaktır. Bu sebeple farklı malzemelerin antenlerde kullanımı da araştırılmıştır. D bandı (110-170 GHz) için bir anten cam aralayıcı üzerine ve bir anten dizisi ise yine aynı band için cam aralayıcı içine bir gömülü kap ile 6G kablosuz haberleşme uygulamaları için önerilmiştir. Böylece antenlerin entegre paketler içinde kullanımı için bir çözüm sunulmuştur [9-10]. 0.7 THz için önerilen anten yapısında ışyan kısımda bakır yerine grafen kullanılarak hem geri dönüş kaybında iki katına varan bir düşüş elde edilmiş hem de grafenin farklı değerdeki harici elektrik alan değerlerine verdiği tepkiler frekansa bağımlı olarak araştırılmıştır [11]. Ek olarak 2x2 dairesel bir dizi anten yapısında da grafen kullanılarak THz kısa mesafeli haberleşme için yeni bir yapı sunulmuştur [12].

Bu çalışmada 6G haberleşme sistemleri için 1 THz bandında yeni bir kare yama anten yapısı araştırılmıştır. Antenin ışyan kısmının üst kenarı üzerinde dikdörtgen yarıkla kazınarak antenin karakteristiklerinde iyileştirme elde edilmiştir. Farklı malzemelerin aynı tasarım prosedürüne tepkisini anlayabilmek için dielektrik malzeme olarak arlon, silikon, poliyamit ve poliyimit malzemeleri seçilmiştir. Anten üzerinde açılan yarıkların en ve boyları değiştirilerek parametrik analizler gerçekleştirilmiştir. Beklendiği şekilde performans artışı gözlenmiştir fakat bu iyileşmeler seçilen malzemeler için aynı oranda olmamıştır. Arlon malzemesi kullanılarak tasarlanan yama antende geri dönüş kaybı seviyelerinde iyileşme elde edilirken, silikon malzemesi kullanılarak tasarlanan antende yarıkların bazı değerlerinde çift frekansta ışma gözlenmiştir. Poliyamit malzemesi kullanılarak tasarlanan antende ise geri dönüş kaybı iyileşmesi ve bant genişliği artışı elde edilirken, poliyimit malzemesi kullanılarak tasarlanan antende sadece bant genişliği artışı olmuştur.

2. TASARIM

Çalışma için tasarlanan antenler Computer Simulation Technology Microwave Studio (CST MWS) yazılımı kullanılarak analiz edilmişlerdir [13]. Antenler için kullanılan dielektrik malzemeler arlon, silikon, poliyamit ve poliyimit olarak seçilmiştir. Bu malzemelerin seçiminde 6G haberleşme için literatüre sunulmuş çalışmalar örnek alınmıştır [14-17]. Mikroşerit antenlerde verimli ışmanın olması için dielektrik taban kalınlığı $h \ll \lambda_0$ ve kullanılan iletken kalınlığı $t \ll \lambda_0$ olmalıdır [18]. Dielektrik tabanların yükseklikleri mikroşerit antenlerin yayılım koşulları dikkate alınarak arlon, poliyamit ve poliyimit için 6 μm , silikon için 6.5 μm alınmıştır. Ek olarak ışmayı yapan bakır kısmının kalınlığı ise yine yayılım koşullarına göre ayarlanarak 1 μm alınmıştır.



Şekil 1. Referans anten tasarım parametreleri.

Bu çalışmada önerilen anten modeli için tasarım üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada referans anten modeli boyutları tasarım denklemlerine (1-4) göre belirlenmiştir. Daha sonra (5) ile kare yama anten için anten genişliği, anten uzunluğuna eşit alınmıştır. Bu tasarım Anten#1 olarak isimlendirilmiştir. Şekil 1 referans anten yapısını ve tasarım parametrelerini göstermektedir. Anten besleme yöntemi olarak mikroşerit hat ile içeriden besleme tekniği kullanılmıştır. Burada L_{besleme} mikroşerit hattın boyunu, W_{besleme} hattın enini, F_i içeriden besleme hattının boyunu ve g ise içeriden besleme hattının enini göstermektedir. Bu parametreler 50Ω luk giriş empedansı için optimize edilmişlerdir. Tasarım parametreleri ve aşamaları 1 THz rezonans frekanslı her üç dielektrik malzeme ile tasarlanan antenler için aynıdır.

$$W_{\text{yama}} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

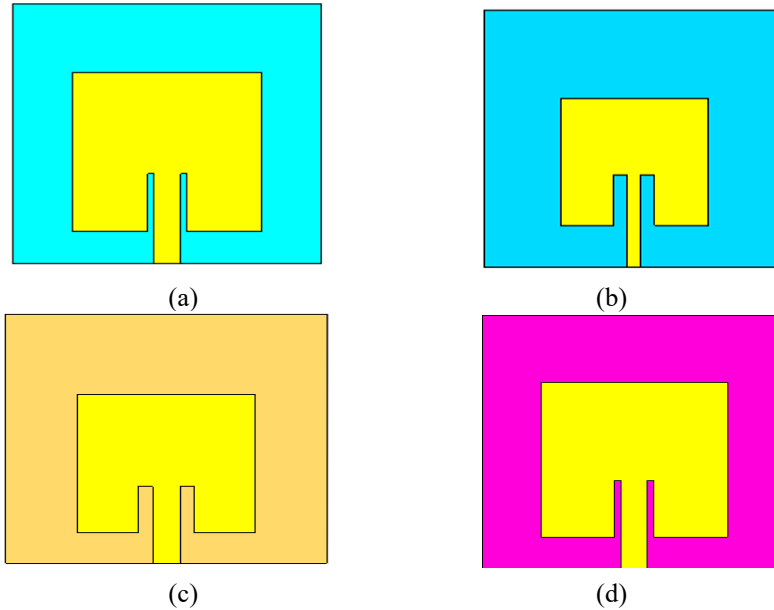
$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W_{\text{yama}}} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta L_{\text{yama}}}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{\text{eff}} + 0.3) \left(\frac{W_{\text{yama}}}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{eff}} - 0.258) \left(\frac{W_{\text{yama}}}{h} + 0.8 \right)} \quad (3)$$

$$L_{\text{yama}} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} - 2\Delta L_{\text{yama}} \quad (4)$$

$$W_{\text{yama}} = L_{\text{yama}} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (5)$$

Şekil 2a-d her dört anten için referans modeli göstermektedir. Her dört anten için kullanılan parametre değerleri ise Tablo 1-4'te görülmektedir.



Şekil 2. Dört farklı dielektrik malzeme için tasarlanan referans antenler, Anten#1, a) Arlon tabanı kullanılarak tasarlanan anten, b) Silikon tabanı kullanılarak tasarlanan anten, c) Poliyamit tabanı kullanılarak tasarlanan anten, d) Poliyimit tabanı kullanılarak tasarlanan anten.

Tablo 1. Arlon tabanı kullanılarak tasarlanan anten boyutları (μm).

W_{yama}	L_{yama}	W_{taban}	L_{taban}	g
79,7	79,7	130	130	2,7
F_i	W_{besleme}	L_{besleme}	t	h
29	11	16	1	6

Tablo 2. Silikon tabanı kullanılarak tasarlanan anten boyutları (μm).

W_{yama}	L_{yama}	W_{taban}	L_{taban}	g
42,5	42,5	86	86	4
F_i	W_{besleme}	L_{besleme}	t	h
17	4	14	1	6,5

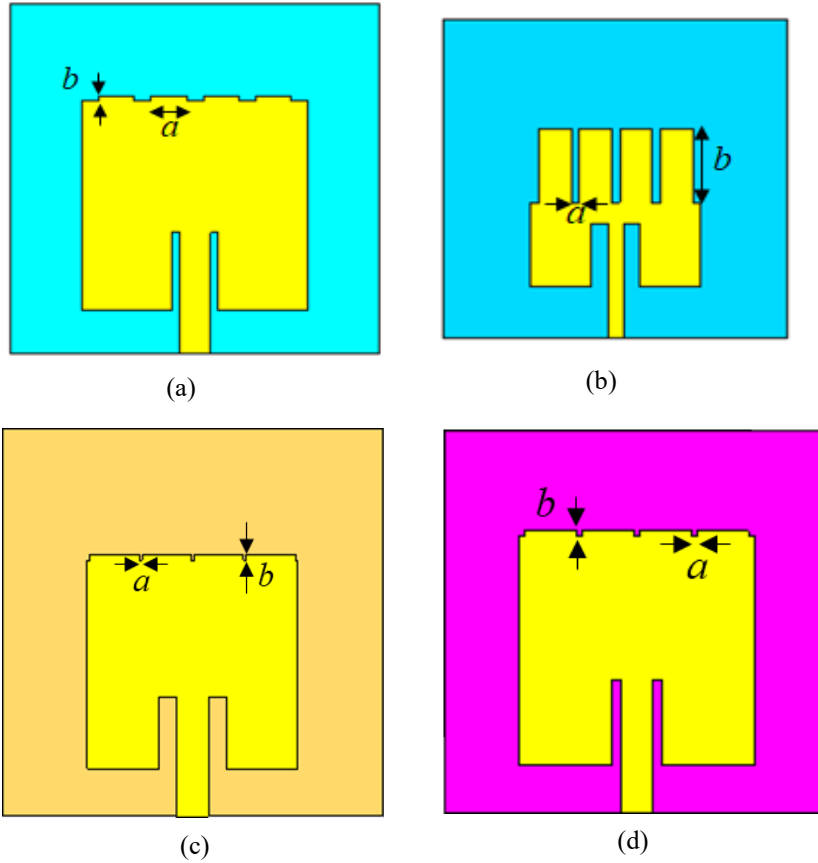
Tablo 3. Poliyamit tabanı kullanılarak tasarlanan anten boyutları (μm).

W_{yama}	L_{yama}	W_{taban}	L_{taban}	g
72	72	130	130	6
F_i	$W_{besleme}$	$L_{besleme}$	t	h
24	11	16	1	6

Tablo 4. Poliyimit tabanı kullanılarak tasarlanan anten boyutları (μm).

W_{yama}	L_{yama}	W_{taban}	L_{taban}	g
79,7	79,7	130	130	2,86
F_i	$W_{besleme}$	$L_{besleme}$	t	H
29	11	16	1	6

İkinci aşamada antenin üst kenarında boyutları birbirine eşit beş adet dikdörtgen şekilli yarı -y yönüne doğru açılmıştır. Bu yarıkların en ve boyu parametrik analizler ile belirlenmiştir. Parametrik analizler, $1 \times 1 \mu\text{m}$ ' den başlayıp en ve boy yönünde artırılmıştır. Daha sonra anten geri dönüş kaybı en az veya anten bant genişliği en fazla olan değerler için bitirilmiştir. Bu yapı Anten#2 olarak isimlendirilmiştir. Şekil 3a-d'de dört farklı dielektrik malzeme için Anten#2 görülmektedir. Anten üzerine açılan yarıkların eni a parametresi ile boyu ise b parametresi ile gösterilmektedir.

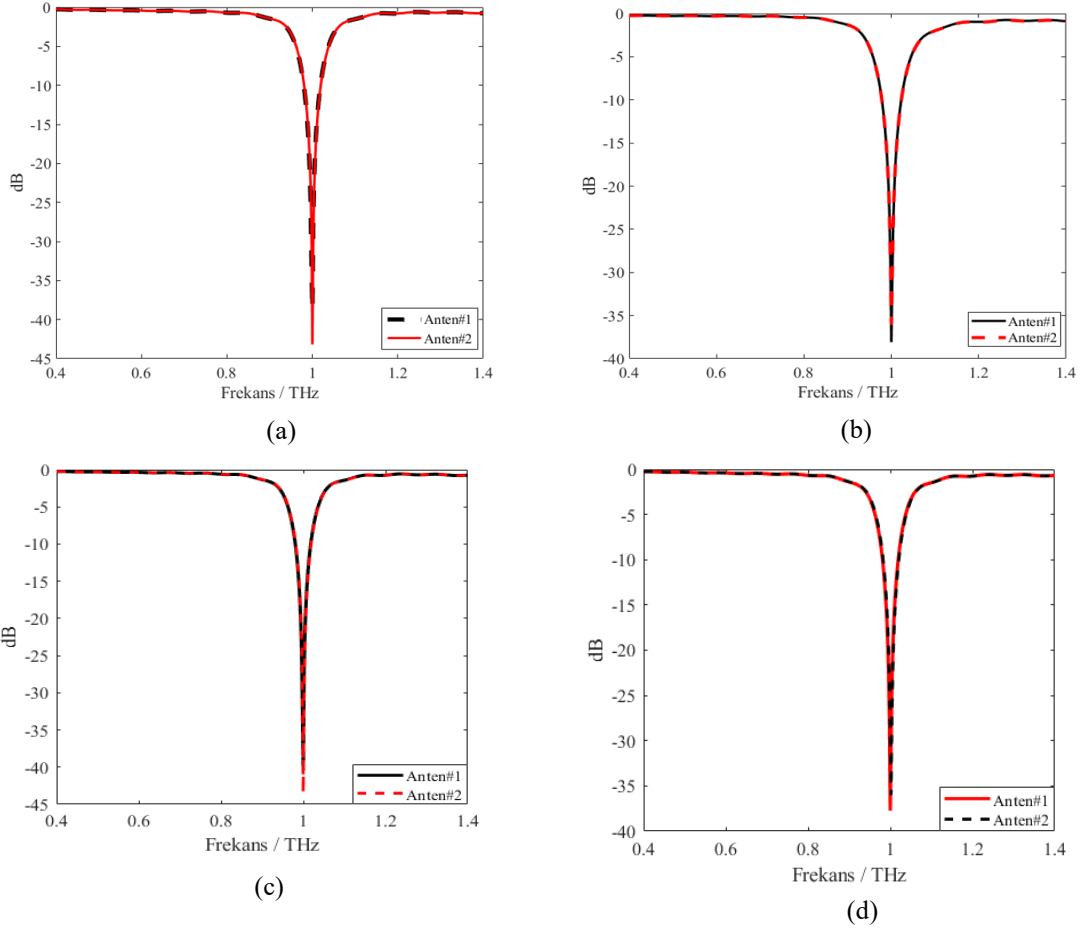


Şekil 3. Dikdörtgen yarıklar kazınmış anten yapıları, Anten#2, a) Arlon tabanı kullanılarak tasarlanan anten, b) Silikon tabanı kullanılarak tasarlanan anten, c) Poliyamit tabanı kullanılarak tasarlanan anten, d) Poliyimit tabanı kullanılarak tasarlanan anten.

3. SONUÇLAR

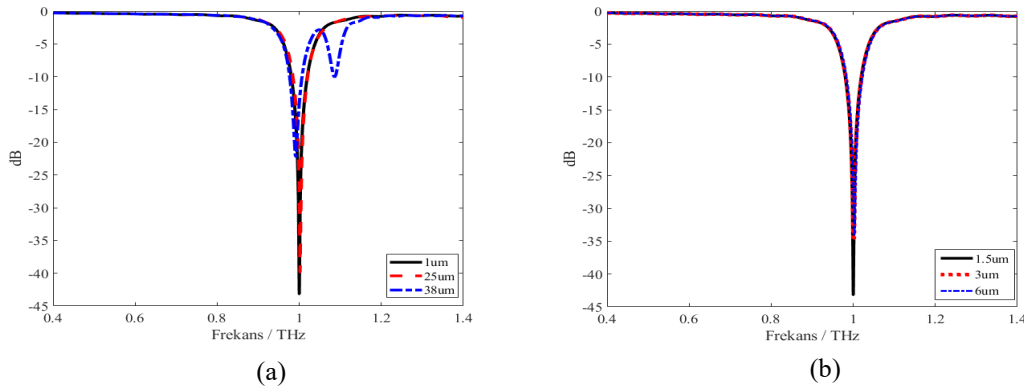
1 THz rezonans frekansına sahip referans antenler ve önerilen antenlerin frekans cevapları Şekil 4a-d'de verilmiştir. Frekans analizleri 0,4-1,4 THz aralığında gerçekleştirilmiştir. Çizimlerde Anten#1 referans anteni, Anten#2 ise önerilen anten modelini göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde arlon tabanı için yapılan tasarımda referans anten geri dönüş kaybı -38,68 dB iken önerilen tasarımla beraber, dikdörtgen yarıklar boyutları $a=1,5 \mu\text{m}$ ve $b=1 \mu\text{m}$ değerlerini aldığı anda, -43,17 dB'e azalmıştır. Bant genişliğindeki artış ise 39 GHz'den 39,54 GHz'e olup 0,54 GHz'lik biri iyileşme sağlanmıştır. Silikon tabanı için yapılan tasarımda dikdörtgen yarıkların geri dönüş kaybı azalması ile ilgili çok önemli bir kazanç olmamıştır fakat bant genişliği artışı olarak olumlu yönde etki etmiştir. Yarıklar boyutları $a=0,05 \mu\text{m}$ ve $b=25 \mu\text{m}$ için bant genişliği artışı 44 GHz'den 45,22 GHz'e 1,22 GHz

olmuştur. Ek olarak poliyamit tabanı için yapılan tasarımda yarık boyutları $a=0,9 \mu\text{m}$ ve $b=2 \mu\text{m}$ için geri dönüş kaybı seviyesi $-40,47 \text{ dB}$ 'den $-43,41 \text{ dB}$ 'e azalmış, bant genişliğindeki artış ise $0,505 \text{ GHz}$ olmuştur. Poliyamit tabanı için yapılan tasarımda ise yarık boyutları $a=2,02 \mu\text{m}$ ve $b=1,64 \mu\text{m}$ için sadece bant genişliği artışı sağlanmış, referans antende $38,184 \text{ GHz}$ olan bant genişliği, önerilen tasarım için $38,578 \text{ GHz}$ olmuş ve $0,394 \text{ GHz}$ 'lik bir artış elde edilmiştir.



Şekil 4. Anten#1 ve Anten#2 frekans cevabı, a) Arlon tabanı kullanılarak tasarlanan anten, b) Silikon tabanı kullanılarak tasarlanan anten, c) Poliyamit tabanı kullanılarak tasarlanan anten, d) Poliyimite tabanı kullanılarak tasarlanan anten.

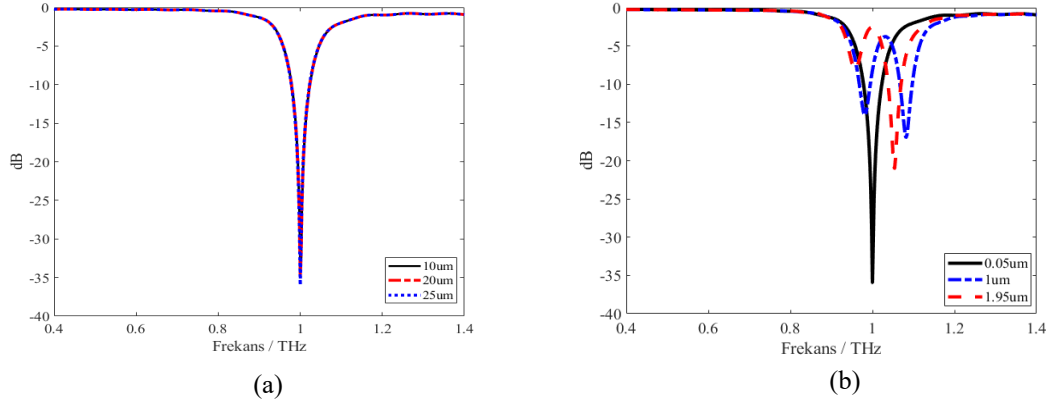
Dikdörtgen yarıkların her bir malzeme için boyut değişimlerinin etkileri parametrik analizlerle belirlenmiştir. En iyi sonucun alındığı değerlerden belirli adımlarla yarıkların boyutları artırılıp azaltılarak sonuçlar incelenmiştir. Bu sonuçlar arlon tabanı için Şekil 5a-b'de görülmektedir. Dikdörtgen yarıkların boyutlarının -y eksenli boyunca değişimi antenin frekans tepkisinde önemli değişikliklere yol açmıştır. Bu değerin artırılması geri dönüş



Şekil 5. Arlon tabanı için dikdörtgen yarıkların parametrik analizi, a) $a=1,5 \mu\text{m}$ için $b=1 \mu\text{m}$, $25 \mu\text{m}$ ve $38 \mu\text{m}$, b) $b=1 \mu\text{m}$ için $a=1,5 \mu\text{m}$, $3 \mu\text{m}$ ve $6 \mu\text{m}$.

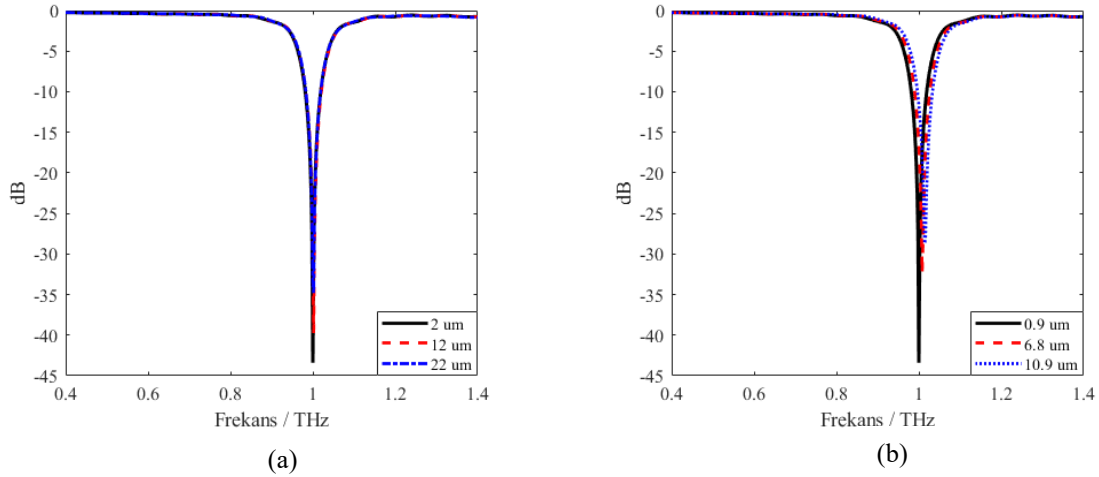
kayıplarında artışa yol açarken, 38 μm için ikinci bir rezonans oluşumu dikkat çekmiştir. Fakat bu rezonans geri dönüş kaybı minimum değeri -10 dB'yi aşmadığından anten için çoklu frekans yayılımı yapar sonucuna varılamamıştır. Parametrik analizlerde dikdörtgen yarıkların boyu sabit tutulup, eni $\pm x$ yönünde değiştirildiğinde ise sadece geri dönüş kaybında değişimler gözlenmiştir. Yarık eni boyutu arttıkça geri dönüş kaybında artışlar olmuştur.

Şekil 6a-b silikon taban malzemesi ile tasarlanan yama anten için yarık parametrik analiz sonuçlarını göstermektedir. Silikon için yarıkların eni sabit, boyu -y eksenı yönünde artırıldığında rezonans frekansında herhangi bir değişme yaşanmazken, geri dönüş kayıplarında çok küçük değişimler görülmüştür. Yarıkların boyu 25 μm 'de sabit tutulup enleri $\pm x$ yönünde değiştirildiğinde rezonans frekansında kaymalar olmuş ve $a=1 \mu\text{m}$ değeri için 0.982 THz ve 1.082 THz frekanslarında çoklu ışına elde edilmiştir.



Şekil 6. Silikon tabanı için dikdörtgen yarıkların parametrik analizi, a) $a=0,05 \mu\text{m}$ için $b=10 \mu\text{m}$, $20 \mu\text{m}$ ve $25 \mu\text{m}$, b) $b=25 \mu\text{m}$ için $a=0,05 \mu\text{m}$, $1 \mu\text{m}$ ve $1,95 \mu\text{m}$.

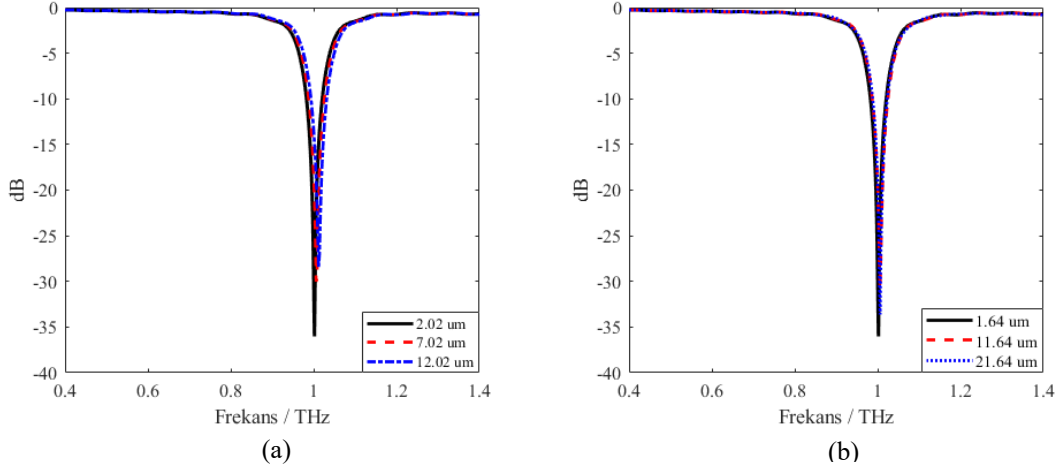
Şekil 7a-b poliyamit taban malzemesi ile tasarlanan yama anten için yarık parametrik analiz sonuçlarını göstermektedir. Poliyamit için hem yarık eni sabit tutulup boyu artırıldığında hem de yarık boyu sabit tutulup eni artırıldığında geri dönüş kaybı seviyesi olumsuz etkilenmiştir. En iyi sonuçlar $a=0,9 \mu\text{m}$ ve $b=2 \mu\text{m}$ değerleri için elde edilmiştir.



Şekil 7. Poliyamit tabanı için dikdörtgen yarıkların parametrik analizi, a) $a=0,9 \mu\text{m}$ için $b=2 \mu\text{m}$, $12 \mu\text{m}$ ve $22 \mu\text{m}$, b) $b=2 \mu\text{m}$ için $a=0,9 \mu\text{m}$, $6,8 \mu\text{m}$ ve $10,9 \mu\text{m}$.

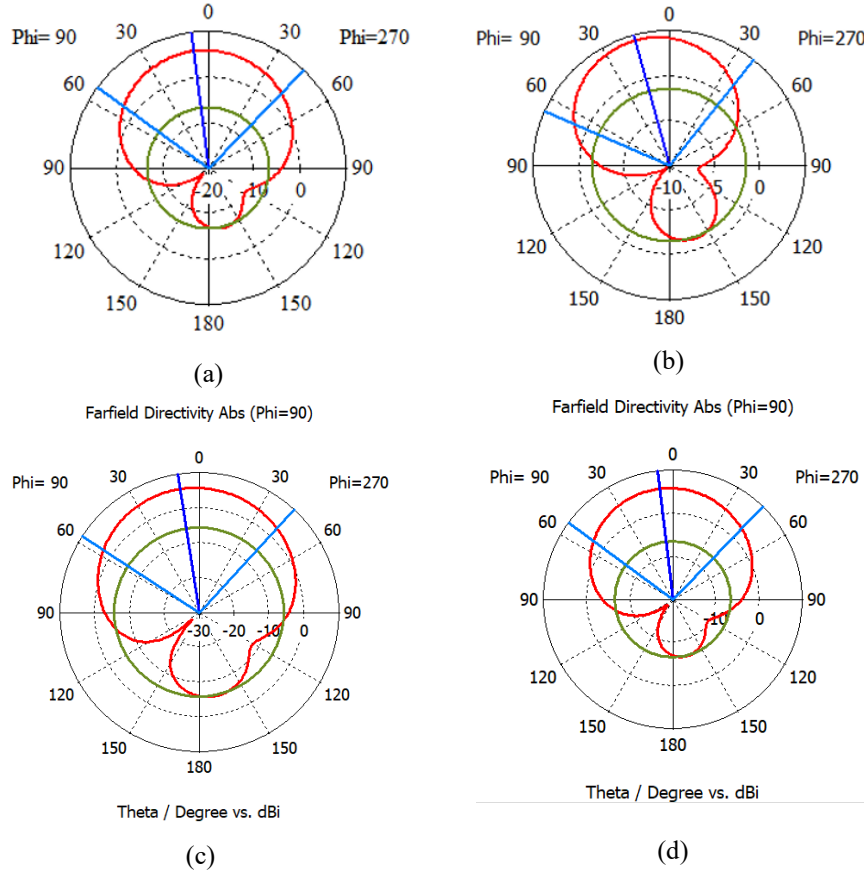
Şekil 8a-b poliyimit taban malzemesi ile tasarlanan yama anten için yarık parametrik analiz sonuçlarını göstermektedir. Poliyimit için hem yarık eni sabit tutulup boyu artırıldığında hem de yarık boyu sabit tutulup eni artırıldığında geri dönüş kaybı seviyesi olumsuz etkilenmiştir. En iyi sonuçlar $a=1,64 \mu\text{m}$ ve $b=2,02 \mu\text{m}$ değerleri için elde edilmiştir.

Şekil 9a-d önerilen antenler için uzak alan ışın diyagramlarını göstermektedir. Arlon ve poliyimit taban malzemesi ile tasarlanan antenlerin ana kulak yönündeki ışın şiddeti 5,82 dBi olurken poliyamit malzemesi kullanılarak tasarlanan antenin ana kulak yönündeki ışın gücü 5,67 dBi olmuştur. Ek olarak silikon malzemesi



Şekil 8. Poliyimit tabanı için dikdörtgen yarıkların parametrik analizi, a) $a = 1,64 \mu\text{m}$ için $b = 2,02 \mu\text{m}$, $7,02 \mu\text{m}$ ve $12,02 \mu\text{m}$, b) $b = 2,02 \mu\text{m}$ için $a = 1,64 \mu\text{m}$, $11,64 \mu\text{m}$ ve $21,64 \mu\text{m}$.

ile tasarlanan antenin ana kulak yönündeki ışınması $4,37 \text{ dBi}$ olmuştur. Yan kulak seviyesinde ise silikon ile tasarlanan anten daha iyi bir performans göstermiştir. Arlon ve poliyimit ile tasarlanan antenlerin yan kulak değerleri $-12,4 \text{ dB}$ ve poliyamit mazlemesi ile tasarlanan antenin yan kulak seviyesi $-11,4 \text{ dB}$ olurken, silikon ile tasarlanan antenin yan kulak değeri $-5,8 \text{ dB}$ olmuştur.



Şekil 9. Önerilen antenlerin rezonans frekansındaki uzak alan ışınma diyagramları, a) Arlon tabanı kullanılarak tasarlanan anten, b) Silikon tabanı kullanılarak tasarlanan anten, c) Poliyamit tabanı kullanılarak tasarlanan anten, d) Poliyimit tabanı kullanılarak tasarlanan anten.

4. SONUÇ

Bu çalışmada 6G haberleşme sistemleri için bir kare yama antenin farklı dielektrik malzemelere ve dikdörtgen yarıklara tepkisi karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Anten üst kenarı üzerinde dikdörtgen yarıklar açılarak frekans tepkisi analiz edilmiştir. Önerilen yapı arlon, silikon, poliyamit ve poliyimit gibi dört farklı dielektrik

malzeme için aynı tasarım yolu izlenerek parametrik analizler yapılmış ve THz bölgesindeki sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Her dört malzeme ile tasarlanan antenlerde aynı tasarım yöntemi izlendiği halde antenlerin frekans tepkileri farklı olmuştur. Silikon ile tasarlanan antende yarıkların belli değerlerinde çoklu ışınım elde edilirken geri dönüş kaybı seviyesinde çok fazla değişim gözlenmemiştir. Arlon ile yapılan tasarımda ise rezonans frekansında değişim olmazken geri dönüş kaybı seviyelerinde önemli farklar oluşmuştur. Poliyamit ve poliyamit malzemelerinde ise yapılan modifikasyonlar ile hem bant genişliği hem de geri dönüş kaybı seviyeleri için çok büyük değişiklikler gözlenmemiştir. Sonuç olarak bu çalışma 6G frekanslarında tasarlanacak antenler için yapılan modifikasyonların farklı malzemelerdeki tepkileri için araştırmacılara fikir verecektir.

Yazar Katkıları

Yazar, makalede çalışılan konunun belirlenmesi, literatür çalışması, makalenin yazılması, deneysel çalışmaların yapılması ve sonuçların değerlendirilmesi süreçlerinin tamamını gerçekleştirmiştir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

KAYNAKÇA

- [1] K. Rikkinen, P. Kyosti, M.E. Leinonen, M. Berg, and A. Parssinen, "THz Radio Communication: Link Budget Analysis toward 6G", IEEE Communications Magazine, vol. 58, no. 11, pp. 22-27, 2020.
- [2] S. Salous, K. Haneda, and V. Degli-Esposti, "5G to 6G: A paradigm shift in radio channel modeling", Radio Science, vol. 57, no. 7, p. e2022RS007447, 2022.
- [3] R. Pant, and L. Malviya, "THz antennas design, developments, challenges, and applications: A review", International Journal of Communication Systems, vol. 36, no. 8, p. e5474, 2023.
- [4] J. Federici, and L. Moeller, "Review of terahertz and subterahertz wireless communications", Journal of Applied Physics, vol. 107, no. 11, 2010.
- [5] Y.M. Hyasat, and Y.S. Faouri, "A Glass Shaped with Circular Slot Patch Antenna for UWB Applications and Potential 6G Wireless Communications", 4th IEEE Middle East and North Africa COMMUNICATIONS Conference (MENACOMM), pp. 106-110, 2022.
- [6] A.I. Omi, M.S. Sagar, M.M.H. Sajeeb, B. Younes, T. Karacolak, and P. Sekhar, "A New Analytically Designed UWB Microstrip Patch Antenna for Future 5G and 6G Applications", United States National Committee of URSI National Radio Science Meeting (USNC-URSI NRSM), pp. 62-63, 2023.
- [7] M.F. Foysal, S. Mahmud, and A.K.M. Baki, "A novel high gain array antenna design for autonomous vehicles of 6g wireless systems", International Conference on Green Energy, Computing and Sustainable Technology (GECOST), pp. 1-5, 2021.
- [8] M.H. Maktoomi, Z. Wang, H. Wang, S. Saadat, P. Heydari, and H. Aghasi, "A sub-terahertz wideband stacked-patch antenna on a flexible printed circuit for 6G applications", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 70, no. 11, 10047-10061, 2022.
- [9] X. Jia, X. Li, S. Erdogan, K.S. Moon, J.W. Kim, K.Q. Huang, M. and Swaminathan, "Antenna With Embedded Die in Glass Interposer for 6G Wireless Applications", IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 13, no. 2, pp. 219-229, 2023.
- [10] K.Q. Huang, and M. Swaminathan, "Antenna Array on Glass Interposer for 6G Wireless Communications", IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 13, no. 2, pp. 211-218, 2023.
- [11] M.K. Azizi, M.A. Ksiksi, H. Ajlani, and A. Gharsallah, "Terahertz graphene-based reconfigurable patch antenna", Progress In Electromagnetics Research Letters, vol. 71, pp. 69-76, 2017.
- [12] G.K. Pandey, T.R. Rao, and S. Mondal, "Design and Analysis of Graphene based Octagonal Short-angular Circular Patch MIMO Antenna for Terahertz Communications", 2nd International Conference on Intelligent Technologies (CONIT), pp. 1-4, 2022.
- [13] Computer Simulation Technology Microwave Studio (CST MWS), Ver. 2016, Framingham, MA, USA, 2016.
- [14] S. Singhal, "Ultrawideband elliptical microstrip antenna for terahertz applications", Microwave and Optical Technology Letters, vol. 61, no. 10, pp. 2366-2373, 2019.
- [15] M.A. Chung, B.R. Chuang, "Design a Broadband U-Shaped Microstrip Patch Antenna on Silicon-Based Technology for 6G Terahertz (THz) Future Cellular Communication Applications", 10th International Conference on Internet of Everything, Microwave Engineering, Communication and Networks (IEMECON), pp. 1-5, 2021.
- [16] R. Bala, A. Marwaha, "Characterization of graphene for performance enhancement of patch antenna in THz region", Optik, vol. 127, no. 4, pp. 2089-2093, 2016.
- [17] M.K. Azizi, M.A. Ksiksi, H. Ajlani, A. Gharsallah, "Terahertz graphene-based reconfigurable patch antenna", Progress In Electromagnetics Research Letters, vol. 71, pp. 69-76, 2017.
- [18] A. Balanis, "Antenna Theory", John Wiley&Sons, Hoboken, New Jersey, USA, pp. 212-217, 2005.



Konuşma İşaretlerinin Derin Evrimsel Otokodlayıcı ve Artık Vektör Nicemleme Tabanlı Sıkıştırılması

Deep Convolutional Autoencoder and Residual Vector Quantization-Based Compression of Speech Signals

¹Tahir BEKİRYAZICI , ²Gürkan AYDEMİR , ³Hakan GÜRKAN 

^{1,2,3}Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yıldırım / Bursa, Türkiye

¹tahir.bekiryazici@btu.edu.tr, ²gurkan.aydemir@btu.edu.tr,

³hakan.gurkan@btu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 14 March 2024

Accepted : 15 April 2024

Keywords:

Speech Compression,
Causal Convolutional
Neural Network, Residual
Vector Quantization, Deep
Autoencoder

ABSTRACT

This paper proposes a compression method based on an original version of deep convolutional autoencoders, frequently used in the literature, and the compression rate is increased using residual vector quantization instead of constant step quantization. In the proposed method, the first encoder part of an autoencoder is utilized to map the input speech signal to a lower dimensional (code) space, and then the code is further compressed via residual vector quantization. The compression method offers different ratios due to two different decoder structures operating in parallel and the two codebooks. The method's performance is evaluated on the TIMIT dataset using the Perceptual Evaluation of Speech Quality metric. The proposed speech compression method achieved perceptual evaluation of speech quality scores of 1.665 and 1.985 for 1.25 and 2.5 kilobits per second transmission rates, respectively. The obtained compression rates are above the deep learning-based compression methods in the literature and at the same level as the traditional methods. At the same time, speech quality is better than the methods that provide the same compression levels.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 14 Mart 2024

Kabul : 15 Nisan 2024

Anahtar Kelimeler:

Konuşma Sıkıştırma,
Nedensel Evrimsel Sinir
Ağları, Artık Vektör
Nicemlemesi, Derin
Otokodlayıcı

ÖZET

Bu çalışmada, konuşma işaretlerini sıkıştırmak için literatürde çokça kullanılan derin öğrenme tabanlı otokodlayıcı yapısının özgün bir örneği geliştirilmiş ve sabit basamaklı nicemleme yerine artık vektör nicemlemesi kullanılarak sıkıştırma oranı geliştirilmiştir. Önerilen sıkıştırma yönteminde, öncelikle giriş konuşma işaretini daha düşük boyutlu bir uzaya atayan otokodlayıcı kullanılmakta ve ardından otokodlayıcı çıkışı, artık vektör nicemlemesi ile daha da sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırma yöntemi, birbirine paralel çalışan iki farklı kod çözücü yapısı ve iki kod kitapçığı sayesinde farklı sıkıştırma oranları sunmaktadır. Yöntemin başarımı konuşma kalitesini algısal değerlendirme metriği kullanılarak TIMIT veri kümesi ile değerlendirilmiştir. Önerilen konuşma sıkıştırma yöntemi, saniye başına 1,25 ve 2,5 kilo bit iletim hızları için sırasıyla 1,665 ve 1,985 konuşma kalitesini algısal değerlendirme skoru elde etmiştir. Elde edilen sıkıştırma oranları literatürde yer alan derin öğrenme tabanlı yöntemlerin üzerinde ve geleneksel yöntemlerle aynı seviyededir. Konuşma kalitesi ise benzer sıkıştırma oranı sunan yöntemlere göre daha iyidir.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Konuşma işaretleri insan vücudu içerisinde gerçekleşen bir dizi fizyolojik olay sonucunda meydana gelmektedir. Bu işaretlerin üretimi esnasında akciğer, ses telleri, gırtlak, dil, çene, dudak gibi organlar rol oynamaktadır. Ses tellerinin hava ile titreşmesi sonucu oluşan ses dalgaları, ağız ve burun gibi anatomik yapılar tarafından şekillendirilerek konuşma işaretlerine dönüşmektedir [1-2].

Konuşma, telekomünikasyon, multimedya uygulamaları, dijital ses yayıncılığı ve sanal asistanlar gibi çeşitli alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile günlük hayatta kullanılan ses ve konuşma verilerinin hacmi de giderek artmaktadır. Büyük miktarlardaki sıkıştırılmamış konuşma verisinin depolanması önemli miktarda hafıza gerektirmekte ve depolama maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bunların yanı sıra, sıkıştırılmamış konuşma işaretlerinin iletilmesi, yüksek veri hızları gerektirdiğinden ağ bant genişliğini zorlamaktadır. Yüksek veri hızları ayrıca ağ gecikmesine neden olarak iletişim sistemlerinin yanıt verebilirliğini etkilemekte ve böylece gerçek zamanlı etkileşimleri de bozmaktadır. Bu gibi önemli problemlerin üstesinden gelebilmek için konuşma işaretlerinin temel algısal kaliteyi bozmadan etkin bir şekilde sıkıştırılması gerekmektedir. Bu konuda geliştirilen konuşma sıkıştırma yöntemleri, konuşma işaretlerinin uygun maliyetli olarak daha küçük alanlarda depolanmasını sağlamakta ve iletim esnasında gereken veri hızını azaltmayı amaçlamaktadır.

En genel anlamda sıkıştırma yöntemleri kayıplı ve kayıpsız sıkıştırma olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır. Kayıpsız sıkıştırma yöntemlerinde bilgi kaybının sıfır olması hedeflendiği için sıkıştırma oranları çok küçük seviyelerde kalmakta ve bu yüzden kullanım alanları da çok dar olmaktadır. Kayıpsız sıkıştırma yöntemleri veri kaybının çok hassas olduğu uygulamalarda tercih edilmektedir. Bu yöntemlere örnek olarak aritmetik kodlama ve huffman kodlama örnek olarak verilebilir [3].

Kayıplı sıkıştırma yöntemlerinde ise sıkıştırılmak istenen ses işaretinde sıkıştırma oranına bağlı olarak veri kaybı meydana gelmektedir. Buradaki asıl amaç kaybedilecek olan verinin önemsiz olan kısımlardan oluşması ve düşük bilgi kaybı ile yüksek sıkıştırma sağlanmasıdır. Kayıplı sıkıştırma yöntemleri dalga biçimi kodlama (waveform coders), parametrik kodlama (parametric coders) ve hibrit kodlayıcılar olmak üzere kendi arasında üç gruba ayrılmaktadır. Dalga biçimi kodlayıcılar, konuşma işaretlerinin dalga biçiminin doğrudan temsiline dayanmaktadır. Parametrik kodlayıcı yöntemleri, konuşma işaretlerini daha az sayıda parametre ile temsil etmek üzerine odaklanmaktadır. Hibrit konuşma sıkıştırma yöntemlerinde ise dalga biçimi kodlayıcı ve parametrik kodlayıcıların özelliklerini birleştiren farklı bir yaklaşım kullanılmaktadır [4-5].

Doğrusal tahmine dayalı kodlama (Linear Predictive Coding-LPC), kod uyarımlı doğrusal tahmin (Code-Excited Linear Prediction-CELP) ve karışık uyarımlı doğrusal tahmin (Mixed Excitation Linear Prediction-MELP), konuşma sıkıştırmada üç önemli yöntemdir ve her biri telekomünikasyon sistemlerinin gelişiminde önemli bir rol oynamıştır [6-8]. LPC yöntemi, gelecekteki örnekleri tahmin etmek için geçmiş örnekleri kullanarak konuşma işaretlerini modelleyen temel bir yaklaşımdır. LPC-10 yöntemi saniye başına 2,4 kilo bit (kilobits per second-kbps) gibi çok düşük iletim hızlarında sıkıştırma yapmasına karşılık robotik bir ses üretmektedir. LPC'yi temel alan CELP yöntemi ise sentez yoluyla analiz yaklaşımı (analysis-by-synthesis) sunmakta ve orijinal ile sentezlenmiş konuşma arasındaki uyumsuzluğu en aza indirmek için vektör niceleme kullanılmaktadır. Bu yöntem önceden tanımlanmış bir dizi kod arasından en uygun eşleşmeyi seçmektedir. MELP yöntemindeyse, uyarım sinyaline hem periyodik (perdeli) hem de periyodik olmayan (gürültü benzeri) bileşenleri dahil ederek hibrit bir yaklaşım sunmaktadır. Bu hibrit yaklaşım, özellikle gürültülü ortamlarda sentezlenen konuşmanın doğrallığını ve anlaşılabilirliğini artırmaktadır. Bir başka konuşma sıkıştırma yöntemi olan SYMPES yönteminde ise konuşma işaretleri konuşmacıdan ve dilden bağımsız önceden tanımlı temel tanım ve zarf vektörleri ile bir kazanç katsayısı kullanılarak düşük bit oranlarında sıkıştırılmıştır. [9-10].

Son yıllarda görüntü işleme birimi (Graphics processing unit-GPU) teknolojilerinde artarak devam eden gelişmeler, derin öğrenme tabanlı konuşma sıkıştırma yöntemlerinin yeteneklerini önemli ölçüde artırmıştır. Bu sayede geliştirilen derin öğrenme tabanlı yöntemler karmaşık sinir ağı mimarilerini daha etkin bir şekilde kullanarak veri boyutunu azaltırken, sıkıştırılan verileri yüksek kaliteli bir şekilde yeniden elde edilebilmektedir. GPU'lar tarafından sağlanan hızlandırma, daha karmaşık modellerin eğitimini kolaylaştırarak sıkıştırma oranı ve ses kalitesi açısından üstün performans elde eden son teknoloji konuşma sıkıştırma yöntemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Literatürde derin öğrenme tabanlı ses sıkıştırma yöntemleri incelendiğinde, derin sinir ağları (DNN), evrimsel sinir ağları (CNN), derin kalıntı ağları (deep residual networks), uzun-kısa süreli hafıza (LSTM), geçitli tekrarlayan ünite (gated recurrent unit-GRU) ve başlangıç (inception) mimarisi tabanlı modellerin kullanıldığı görülmektedir.

Derin öğrenme tabanlı konuşma sıkıştırma yöntemlerine temel olan konuşma şekli sentezi için üretken model olan WaveNET, ses üretirken bir sonraki ses örneğinin olasılık dağılımını tahmin ederek, önceki tüm zaman adımlarındaki örnekler üzerine koşullandırılmış bir yöntem kullanılmaktadır [11].

Derin öğrenme tabanlı yapılan uçtan uca sıkıştırma yönteminde kalıntı (residual) sinir ağları ve otokodlayıcı yapıları (SC-DNN) beraber kullanılan model önerilmiştir [12]. Otokodlayıcı sıkıştırma mimarisi kodlayıcı ve kod çözücü yapılarında 4 farklı kalıntı bloğu içermektedir. Derin öğrenme modelinin eğitimi için tek bir kayıp fonksiyonu kullanılması yerine, farklı fonksiyon toplamlarından oluşan maliyet fonksiyonu (objective functions) kullanılmıştır.

Bir diğer çalışmada derin evrimsel sinir ağları tabanlı mimari ile uçtan uca bir sıkıştırma yöntemi kullanılmıştır. Sunulan modelde, başlangıç ağ yapısı kullanılarak bir boyutlu katmanlardan oluşan kodlayıcı ve kod çözücü yapıları kullanılmıştır. Model girişine verilen farklı örnek sayılarına göre farklı miktarda sıkıştırma oranı sunmaktadır. Fakat modelin farklı girişler için tekrar eğitilmesi gerekmektedir [13].

Budanmış (Pruned) CELP konuşma sıkıştırma yöntemine dayalı geliştirilen yöntemde gürültüsüz otokodlayıcı yapısı kullanılarak başarımlar artırılmaya çalışılmıştır [14]. Yöntemin kodlayıcı kısmında ilk m tane CELP katsayıları seçilerek budama işlemi gerçekleştirilmiş ve iletim için gerekli bit sayısı azaltılmıştır. CELP katsayılarından gelen gürültüyü gidermek için kod çözücü çıkışında gürültüsüz otokodlayıcı yapısı ile kalite artırımı hedeflenmiştir. Bu modelde her bir işaretin sıkıştırma oranı sabittir ve bunun yanı sıra düşük bit hızında sıkıştırma yapılamamaktadır.

Kalıntı ağlarına dayalı yapılan başka bir sıkıştırma yönteminde kaskad kalıntı ağ yapısı ile uçtan uca sıkıştırma modeli gerçekleştirilmiştir [15]. Modelde derin öğrenme yapısının haricinde sıkıştırma oranını arttırmak için Huffman kodlama yöntemi uygulanmıştır. Model çıkışında minimum 8,85 kbps olacak şekilde farklı değerlerde sıkıştırma değerleri elde edilmiştir. Fakat düşük bit hızları elde edilememiştir.

Yapılan başka bir çalışmada değişimsel otokodlayıcı (variational autoencoders-VAEs) ve tekrarlayan sinir ağlarına (Recurrent Neural Networks-RNN) dayalı uçtan uca geliştirilen sıkıştırma modeli önerilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar sinyal bozulma oranı (Signal to Distortion Ratio-SDR) metriği kullanılarak verilmiştir [16].

Gerçekleştirilen diğer bir çalışmada, derin sinir ağı tabanlı konuşma kodlayıcısının çok zaman ölçekli algısal kayıp (multi-time-scale perceptual loss) fonksiyonları kullanılarak Resnet tipi geçitli doğrusal birim (Resnet-type gated linear units-ResGLUs) yığınlarından oluşan model ile optimizasyonu yapılmıştır. Giriş çerçevesi alt çerçevelere bölünerek, nicemleme gürültüsü ve maskeleye eşikleri hem genel hem de yerel olarak hesaplanıp birleştirilmiştir. Resnet tipi birimlerle oluşturulan kodlayıcı, minimum 9 kbps seviyelerinde iletim hızını kaliteli bir şekilde sunmaktadır [17].

Derin öğrenmeye dayalı kaynağa duyarlı konuşma kodlama modeli (SANAC) geliştirilerek yapılan çalışmada, gürültülü konuşma işaretleri kaynak ayırma ve sinir kodlama tekniklerinin karmaşık bir kombinasyonu yoluyla sıkıştırılmaktadır. Konuşma işaretinden arka plan gürültüsünü ayırma işlemi bir otokodlayıcı yapısı ile gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırma işlemi sonrasında konuşma işareti ile arka plan gürültüsü ayrı ayrı kod çözücü katmanından geçirilerek çıkışta tekrar birleştirilmekte ve girişe verilen ses sinyali minimum hata ile oluşturulmaktadır. Bu yöntemin çıkışında elde edilen konuşma işaretlerinde, diğer modellerin aksine arka plan gürültüsü giderilmiş olmamaktadır. Gürültü bileşeni de ayrıca kodlandığından dolayı, model çıkışında yeniden elde edilmektedir [18].

Düşük sinyal-gürültü oranı (SNR) ortamlarında konuşma sıkıştırma ve iyileştirme amacıyla yapılan diğer çalışmada, görüntü sıkıştırma başarılı olan OPINE-Net+ (OPTimization-INspired Explicable deep Network) ağını [19], konuşma işaretlerini sıkıştırarak şekilde uyarlanmıştır. Bu yöntem, konuşma dizilerinden bir örnekleme matrisinin uyarlanabilir öğrenimini, ardından bir başlatma ağı ve yeniden oluşturma ağı aracılığıyla yeniden yapılandırmayı içermektedir [20].

Yapılan bir diğer çalışmada, konuşma sıkıştırma için ölçeklenebilir ve verimli bir sinirsel dalga formu kodlama sistemi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulmuş olan bu sistemde kodlayıcı ve kod çözücü kısımlarında evrimsel sinir ağı temelli bir sinirsel dalga formu kodeki (neural waveform codec-NWC) kullanılmaktadır. Oluşturulan konuşma sıkıştırma sistemi 12-20-32 kbps iletim hızlarında sıkıştırma sonucu verebiliyorken, yüksek kbps iletim hızlarında daha iyi sonuç vermektedir [21].

Sinir ağlarına dayalı geliştirilen bir diğer konuşma sıkıştırma yönteminde, evrimsel katmanlarla birlikte GRU (Gated Recurrent Units) yapısını içeren kodlayıcı ve GAN (Generative Adversarial Networks) tabanlı çok aşamalı kod çözücünden oluşan mimari yapı kullanılmıştır. Bu sıkıştırma yöntemi özellikle uzun süreli konuşma özneliklerini etkili bir şekilde yakalama noktasında başarılıdır. Sıkıştırma yöntemi 8kbps iletim hızını desteklemektedir. Mimarinin kodlayıcı kısmı 9,8M, kod çözücü kısmı için 6,3M gibi çok yüksek miktarda parametre kullanılmıştır [22].

Derin öğrenme tabanlı konuşma sıkıştırma yöntemleri geleneksel yöntemlere göre algısal olarak daha kaliteli sıkıştırma sunmaktadır. Ancak elde edilen sıkıştırma oranları genellikle LPC-CELP gibi geleneksel yöntemlerin çok gerisinde kalmaktadır. Derin öğrenme tabanlı yöntemlerde konuşma işaretleri çerçevelere ayrılmakta, bu çerçeveler derin sinir ağları ile daha küçük boyutlu bir uzaya (kod bölgesine) aktarılmaktadır. Elde edilen kodlardaki her bir sayı sabit adımlarla nicemlenmektedir. Bu nedenle nicemleme dolayısıyla elde edilen sıkıştırma oranı kısıtlı kalmakta asıl sıkıştırma derin sinir ağı tarafından sağlanmaktadır. Bu çalışmada konuşma sıkıştırma için literatürde önerilen kaliteli sıkıştırma sağlayan evrimsel otokodlayıcı yapılarından esinlenilerek nedensel evrimsel katmanlar ve başlangıç katmanları içeren özgün bir hibrit derin otokodlayıcı mimarisi oluşturulmuştur. Dahası konuşmanın otokodlayıcısının kodlayıcı kısmı ile sıkıştırılması ile elde edilen işaretler klasik nicemleme yerine artık vektör nicemlemesi (residual vector quantization-RVQ) ile sıkıştırılarak sıkıştırma oranı artırılmıştır. Bu sayede geleneksel yöntemlere göre daha kaliteli, derin öğrenme tabanlı yöntemlere göre ise daha yüksek sıkıştırma oranlı sıkıştırma elde edilmiştir.

Önerilen yöntemin yapısı gereği iki farklı oranda sıkıştırılmış işaret elde edilmektedir. Modelin kodlayıcı yapısında birbirine paralel çalışan evrimsel sinir ağları ve başlangıç ağları modelleri bulunmaktadır. Kodlayıcı yapısı, girişe verilen işaretleri 4:1 oranında ve 8:1 oranında sıkıştırarak şekilde tasarlanmıştır. Bu yapısı sayesinde sıkıştırma miktarını arttırmak için kodlayıcı çıkışından elde edilen işaretlere artık vektör niceleme işlemi uygulanmakta ve

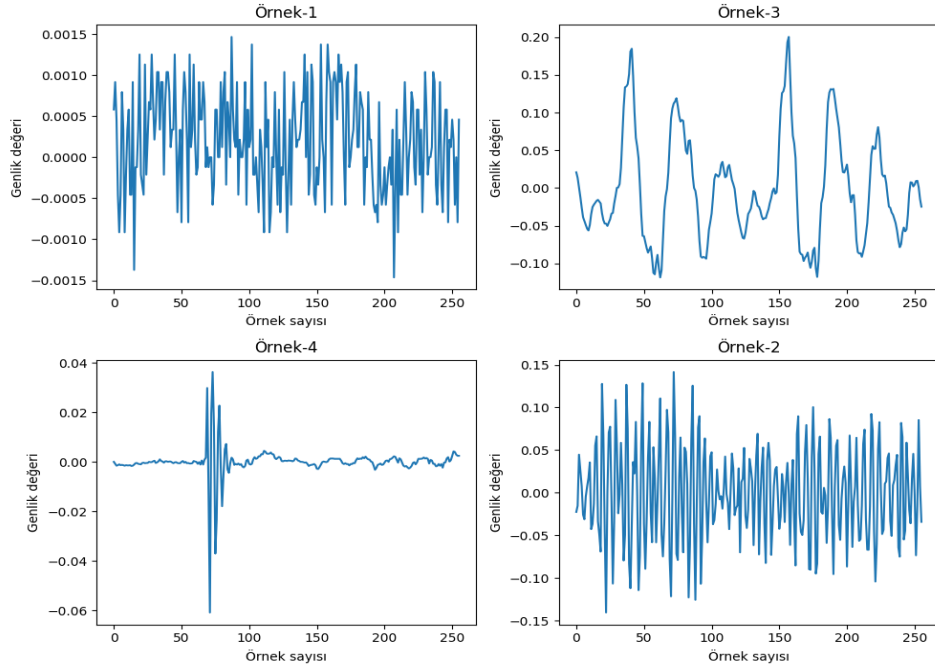
çok düşük bit iletim hızlarında kodlanmış işaretler elde edilmektedir. Önerilen sıkıştırma yöntemi tekrar eğitime ihtiyaç duymadan farklı hızlarda sıkıştırma yapabilmektedir. Yöntemin başarımını test etmek için PESQ metriği kullanılmış ve sıkıştırma oranı metriklerine göre farklı yöntemler ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmanın bu bölümü, ön işleme adımları ve önerilen sıkıştırma modeli hakkında detayları içermektedir.

2.1. Ön İşleme Süreci

Derin öğrenme tabanlı modellerin eğitimi ve test aşamasında kullanılacak veriler için ön işleme adımları oldukça önemlidir. Önerilen konuşma sıkıştırma yönteminde kullanılacak olan veriler için ön işleme iki kısımdan oluşmaktadır. Ön işleme adımlarının ilk kısmında konuşma verileri -1/+1 arasına normalize edilirken sonraki adımda her bir konuşma işareti 256 örnek içerecek şekilde çerçevelere ayrılmaktadır. Şekil 1'de ön işleme adımlarından geçirilerek elde edilmiş olan çerçeve örnekleri rastgele seçilerek gösterilmiştir.



Şekil 1. Ön işleme adımından geçirilmiş örnekler.

2.2. Nedensel Evrişimsel Sinir Ağları ve Başlangıç (Inception) Ağları

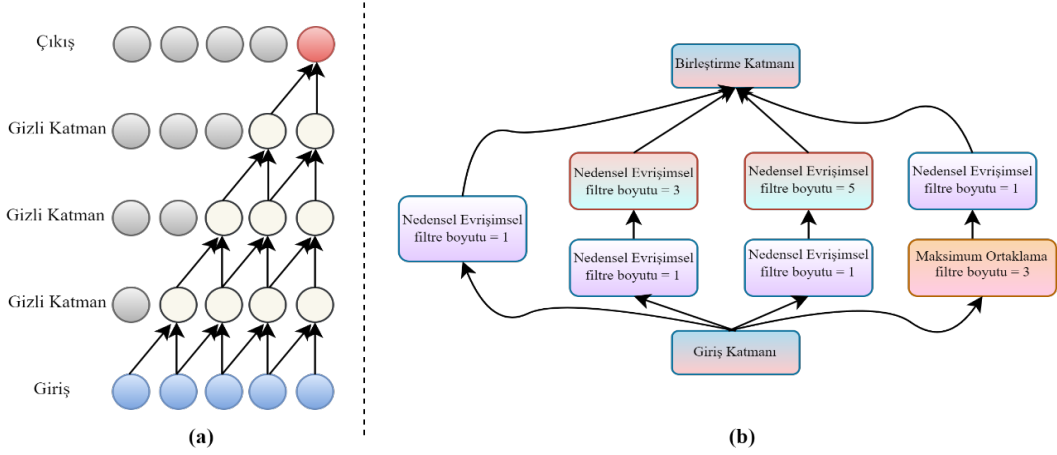
Evrişimsel sinir ağları (Convolutional Neural Network-CNN), görüntü sınıflandırma, nesne algılama ve görüntü bölütleme gibi görsel verileri içeren uygulamalar için yaygın olarak kullanılan derin sinir ağı katmanlarıdır. Evrişimsel katmanlar, etkili bir şekilde verideki uzamsal desenleri yakalayıp öznetelik haritaları çıkarmaktadır. Geleneksel CNN mimarilerinde, evrişimsel katmanlar giriş verileri üzerinde konvolüsyon işlemi yapmak için süzgeçler (kernel) kullanılmaktadır. Burada gerçekleştirilen konvolüsyon işlemi sonrasında öznetelik haritaları oluşmaktadır. Havuzlama (pooling) katmanları ile elde edilen öznetelik haritalarını aşağı örnekleyerek önemli bilgiler korunmakta ve uzamsal boyutları azaltılmaktadır. Bu öznetelik çıkarma işlemi, CNN'lerin girdi verilerinin giderek daha soyut temsillerini öğrenmesini sağlamakta sınıflandırma, sıkıştırma ve tahmin görevleri için etkili rol oynamaktadır.

Zaman serisi verileri, her biri belirli bir zaman adımına karşılık gelen bir dizi veri noktasından oluşmaktadır. Geleneksel CNN'ler tüm girdi verisini aynı anda işlemekte ve gelecekteki bilgilere erişmelerini sağlamaktadır. Ancak zaman serisi verileri için bu yaklaşım yanlıştır. Bu haliyle model, gelecekteki verilere erişerek geleceği tahmin etmeye çalışabileceğinden istenmeyen sonuçlara yol açmaktadır. Bu problemi çözmek için nedensel evrişimsel katmanlar ortaya atılmıştır [11].

Nedensel CNN ağları zaman serisi verilerini işlemek için tasarlanmış özel bir CNN türüdür ve çalışma yapısı olarak normal CNN ağları ile aynı şekilde çalışmaktadır. Nedensel ifadesi, mevcut zaman adımında, yalnızca geçmiş zamandan gelen bilgilerin kullanıldığını ifade etmektedir. Bir başka deyişle bu ağlar, zaman serisi verilerini işlerken gelecekteki bilgiyi kullanmadan evrişim işlemi gerçekleştirilmektedir.

Başlangıç (inception) mimarileri olarak da bilinen başlangıç sinir ağları ise görüntü sınıflandırma görevleri için tasarlanmış derin evrişimsel sinir ağlarıdır. Başlangıç ağlarının temel özelliği, aynı katman içinde farklı ölçeklerde çoklu paralel evrişimsel işlemler kullanmalarıdır.

Başlangıç ağlarının temel yapı taşı olan başlangıç modülü, çoklu paralel evrimsel işlemlerden ve ardından birleştirme işleminden oluşmaktadır. Başlangıç ağları aynı katman içinde farklı süzgeç boyutlarına (1x1, 3x3 ve 5x5) sahip yapıların bir kombinasyonunu kullanmaktadır. Bu, ağı çeşitli ölçek ve çözünürlüklerdeki öznelikleri aynı anda yakalamasını sağlamaktadır. Tek boyutlu başlangıç modelleri ise tek boyutlu veri yapılarını veya tensörlerini girdi olarak almakta ve bir boyutlu evrimsel işlemlere tabi tutmaktadır. Sinir ağları bağlamında, tek boyutlu gösterimler genellikle zaman serisi verileri, konuşma işaretleri veya metin gibi sıralı verileri temsil etmek için kullanılmaktadır [23]. Şekil 2’de nedensel evrim sinir ağı yapısı ve örnek bir boyutlu başlangıç mimarisi gösterilmektedir. Önerilen yöntem içerisinde kullanılan başlangıç ağlarında da nedensel evrimsel katmanlar kullanılmıştır.

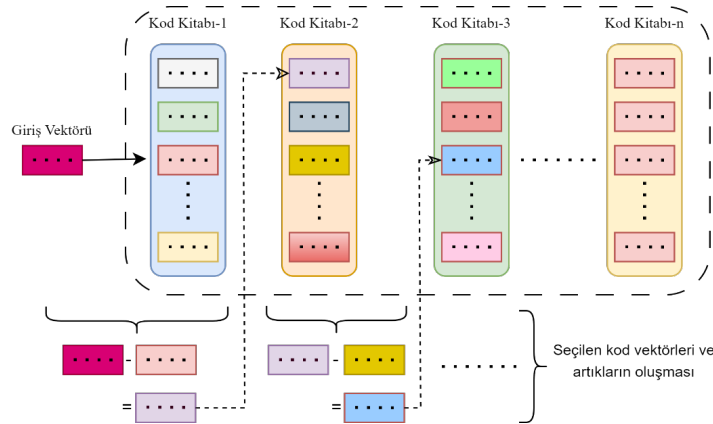


Şekil 2. (a) Nedensel evrimsel katman yapısı, (b) Başlangıç ağı yapısı.

2.3. Artık Vektör Nicemlemesi

Vektör nicemleme (vector quantization – VQ), kayıplı sıkıştırma yöntemlerinde kullanılan bir boyut azaltma yöntemidir. VQ, büyük bir veri noktası kümesini (vektörler), kod vektörleri (code vectors) veya merkezler (centroids) olarak bilinen daha küçük temsili vektör kümesiyle ifade etmek için kullanılmaktadır. Nicemleme süreci, verilerin kümelere ayrılması ve her bir özgün veri noktasının en yakın olduğu kümenin merkez noktası ile temsilini içermektedir. Tek katmanlı nicemleyici kullanmak, veriyi doğru bir şekilde temsil etmek için pratik bir çözüm olmamakla birlikte bu çözümde büyük bir kod kitabına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sorunu çözmek için artık vektör nicemleme (Residual vector quantization – RVQ) yöntemi kullanılmaktadır.

Geleneksel vektör niceme yönteminin bir uzantısı olan artık vektör nicemleme yöntemi, kodlanmış verilerin sıkıştırma verimliliğini ve yeniden elde edilme doğruluğunu artırmayı amaçlamaktadır. Giriş vektörlerini doğrudan kod kitabındaki en yakın kod kelimelerine nicemleyen geleneksel nicemleme yönteminin aksine, RVQ giriş vektörleri ile en yakın kod vektörleri arasındaki artıkları (farkları) da kodlamaktadır. Bu yaklaşım, RVQ’nun daha ince ayrıntıları yakalamasını ve özellikle yüksek korelasyonlu veya yapılandırılmış veriler için daha iyi yeniden yapılandırma kalitesi elde edilmesini sağlamaktadır [24]. Şekil 3’te artık vektör nicemleme yapısı gösterilmektedir.



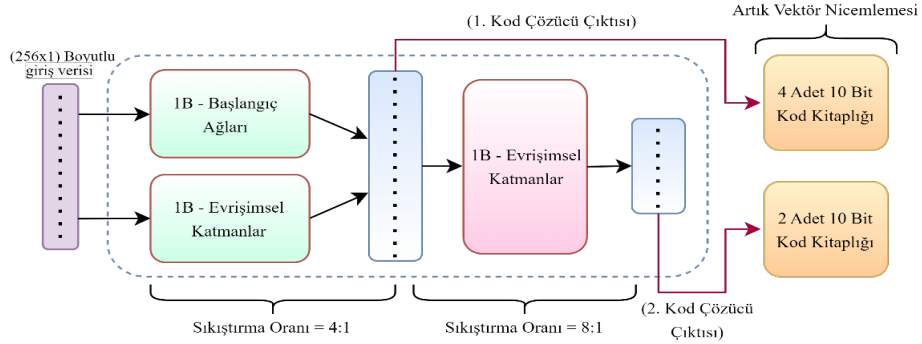
Şekil 3. Artık vektör nicemlemesi kod kitablığı yapısı.

Birincil kod kitabı, giriş vektörlerini en yakın kod vektörüne nicemlemektedir. Girdi verisinin birincil kod kitabı içerisindeki en yakın temsili ile arasındaki fark ise ikinci kod kitabını oluşturmaktadır. Bu artık kod kitabı oluşturma işlemi belirlenen miktarda kod kitabı sayısına ulaşınca kadar devam etmektedir. RVQ’da her bir sonraki kod kitabı, artıklar üzerinde işlem yapmakta ve önceki kod kitapları tarafından tespit edilemeyen veri

yapısını daha da irdeleyerek oluşturmaktadır. Bu sayede her bir kod kitabı, veri kümesinin farklı yönlerini ve detaylarını yakalayabilen katmanlı bir yaklaşım oluşturmaktadır. Bu aşamalı artık kod kitabı yaklaşımı, RVQ'nun verimli sıkıştırmayı sürdürürken yüksek boyutlu vektörlerin giderek daha doğru yaklaşımlarını sağlamasına olanak tanımaktadır.

2.4. Derin Öğrenme Tabanlı Otokodlayıcı Modeli

Önerilen konuşma sıkıştırma yöntemi, derin öğrenme tabanlı bir boyutlu otokodlayıcı modeli ve artık vektör nicemeleme yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla oluşturulmuştur. Otokodlayıcı yapısı, kodlayıcı ve kod çözücü olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir. Model içerisinde tek bir kodlayıcı yapısı mevcutken, kod çözücü tarafında birbirine paralel çalışan iki farklı yapı mevcuttur. Modelin kodlayıcı yapısı içerisinde de hem bir boyutlu başlangıç ağlarından oluşan hem de bir boyutlu evrişimsel katmanlardan oluşan yapılar mevcuttur. Bu yapıların bir araya gelerek oluşturduğu kodlayıcı yapısı 2 farklı sıkıştırma (sıkıştırma oranları sırasıyla, 4:1 ve 8:1) oranı sunacak şekilde çıktılar verebilmektedir. Sıkıştırılmış verilerin elde edildiği katmanlarda süzgeç sayısı 1 olacak şekilde ayarlanmış ve bu şekilde bir boyutlu vektörler elde edilmiştir. Şekil 4'te önerilen yöntemin kodlayıcı yapısı gösterilmektedir.



Şekil 4. Önerilen konuşma sıkıştırma yönteminin kodlayıcı yapısı.

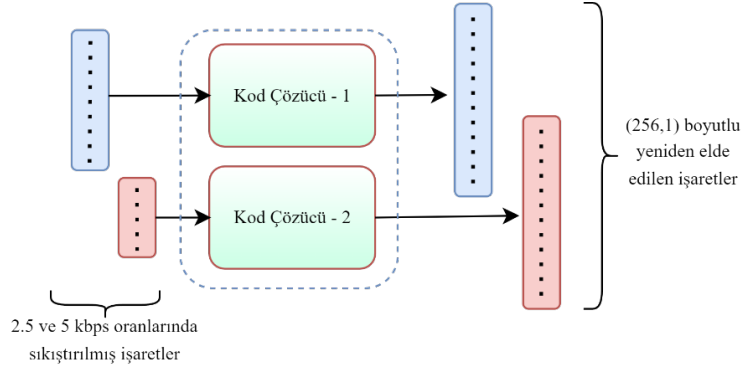
Başlangıç ağ modülleri, evrişimsel katmanların paraleline eklenerek, modelin birden fazla ölçekte ve çözünürlükte çeşitli özellikleri yakalayabilmesi ve karmaşık girdi verilerini etkili bir şekilde sıkıştırarak temsil edebilmesini sağlamıştır. Genel olarak, otokodlayıcı modelinde bir boyutlu başlangıç ağlarının ve evrişimsel katmanların kullanılması sıkıştırma kaybını en aza indirirken, girdi verilerinin doğal yapısının etkili bir şekilde yakalamasını sağlamıştır. Önerilen modelin kodlayıcı kısmına ait katman detayları Şekil 5'te gösterilmektedir.

Katman Adı	Filtre Sayısı / Boyutu / Akt. Fonksiyonu	Katman Adı	Filtre Sayısı / Boyutu / Akt. Fonksiyonu
1B-Evrişimsel Adım Sayısı = 1	64 / 8 / tanh	1B-Evrişimsel Adım Sayısı = 1	128 / 8 / tanh
1B-Evrişimsel + BN Adım Sayısı = 1	128 / 4 / tanh	1B-Başlangıç Ağı + BN	64-96-128-16-32-32 / tanh
1B-Evrişimsel + BN Adım Sayısı = 1	128 / 4 / tanh	1B-Evrişimsel Adım Sayısı = 2	64 / 2 / tanh
1B-Evrişimsel Adım Sayısı = 2	128 / 8 / tanh	1B-Evrişimsel Adım Sayısı = 1	128 / 8 / tanh
1B-Evrişimsel Adım Sayısı = 2	64 / 2 / tanh	1B-Başlangıç Ağı + BN	64-96-96-16-32-16 / tanh
1B-Evrişimsel Adım Sayısı = 1	64 / 1 / tanh	1B-Evrişimsel Adım Sayısı = 2	64 / 6 / tanh

Katman Adı	Filtre Sayısı / Boyutu / Akt. Fonksiyonu	Çıkış
Birleştirme Katmanı	-	
1B-Evrişimsel Adım Sayısı = 1	1 / 1 / tanh	1. Kodlayıcı Çıktısı
1B-Evrişimsel Adım Sayısı = 1	16 / 8 / tanh	
1B-Evrişimsel Adım Sayısı = 1	32 / 7 / tanh	
1B-Evrişimsel Adım Sayısı = 1	64 / 4 / tanh	
1B-Evrişimsel Adım Sayısı = 1	32 / 7 / tanh	
1B-Evrişimsel Adım Sayısı = 1	1 / 1 / tanh	2. Kodlayıcı Çıktısı

Şekil 5. Kodlayıcı yapısı katman detayları.

Konuşma sıkıştırma modelinin kod çözücü yapısında ise 2 farklı kod çözücü modeli bulunmaktadır. Bunun amacı kodlayıcı kısmından gelen 2 farklı sıkıştırma oranı ile sıkıştırılmış verileri tekrar özgün boyutuna getirilebilme. Kod çözücü yapılarında boyut artırma işlemlerinin yapıldığı katmanlarda genelde kullanılan üst örnekleme (upsampling) katmanlarının aksine adım sayısı (stride) 2 olan devrik evrişimsel katmanlar tercih edilmiştir. Önerilen yöntemle ait kod çözücü yapısı Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6. Önerilen modelin kod çözücü yapısı.

İlk kod çözücü (Kod Çözücü-1) yapısı 6 adet devrik evrişimsel katmandan oluşmaktadır. Bu katmanların 2 tanesinde adım sayısı 2 olarak ayarlanmış ve boyut artırma işlemi uygulanmıştır. Son katmanda aktivasyon fonksiyonu olarak lineer tercih edilirken diğer katmanlarda tanh kullanılmıştır. İkinci kod çözücü yapısında ise 9 adet devrik evrişimsel katman kullanılırken, boyut artırma işlemi 3 katmanda yapılmıştır. Kod çözücü I ve II yapılarına ait detaylar sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Önerilen yöntemin kod çözücü-I yapısına ait detaylar

Katman Adı	Süzgeç Boyutu / Akt. Fonk.	Katman Çıktı Boyutu
1B-Devrik Evrişimsel Adım Sayısı = 1	8 / tanh	(1x64), 16
1B-Devrik Evrişimsel Adım Sayısı = 2	4 / tanh	(1x128), 64
1B-Devrik Evrişimsel Adım Sayısı = 1	8 / tanh	(1x128), 16
1B-Devrik Evrişimsel Adım Sayısı = 2	4 / tanh	(1x256), 16
1B-Devrik Evrişimsel Adım Sayısı = 1	8 / tanh	(1x256), 32
1B-Devrik Evrişimsel Adım Sayısı = 1	1 / lineer	(1x256), 1

Tablo 2. Önerilen yöntemin kod çözücü-II yapısına ait detaylar

Katman Adı	Süzgeç Boyutu / Akt. Fonk.	Katman Çıktı Boyutu
1B-Devrik Evrişimsel Adım Sayısı = 1	8 / tanh	(1x32), 32
1B-Devrik Evrişimsel Adım Sayısı = 1	7 / tanh	(1x32), 64
1B-Devrik Evrişimsel Adım Sayısı = 2	4 / tanh	(1x64), 32
1B-Devrik Evrişimsel Adım Sayısı = 1	7 / tanh	(1x64), 32
1B-Devrik Evrişimsel Adım Sayısı = 2	4 / tanh	(1x128), 64
1B-Devrik Evrişimsel Adım Sayısı = 1	8 / tanh	(1x128), 16
1B-Devrik Evrişimsel Adım Sayısı = 2	4 / tanh	(1x256), 16
1B-Devrik Evrişimsel Adım Sayısı = 1	8 / tanh	(1x256), 32
1B-Devrik Evrişimsel Adım Sayısı = 1	1 / lineer	(1x256), 1

Önerilen konuşma sıkıştırma yönteminin eğitimi 350 eğitim döngüsü (epochs) boyunca gerçekleştirilmiştir. Eğitim paket boyutu (1024) olarak belirlenmiştir. Eğitim esnasında aşırı uymanın önüne geçmek için erken durdurma (early stopping) yöntemi kullanılmıştır. Kayıp fonksiyonu olarak ortalama karesel hata (MSE) tercih edilirken, en iyileme için Adam yöntemi kullanılmıştır [25]. Konuşma sıkıştırma yönteminin eğitilebilir toplam parametre sayısı 649 524'tür.

Özet olarak önerilen modelin girişine verilen 256 boyutlu çerçeveler kodlayıcı kısmında 2 farklı oranda (4:1 ve 8:1) sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırılan işaretler RVQ ile nicemlenerek 2,5 ve 1,25 kbps hızlarında iletilmektedir. 4:1 oranında sıkıştırılmış işaret için 4 tane 10 bitlik kod kitaplığı kullanılırken, 8:1 oranında sıkıştırma için 2 tane 10 bitlik kod kitaplığı tercih edilmiştir. Farklı oranlarda sıkıştırılıp iletilen işaretler kod çözücü kısmında sıkıştırma oranlarına göre 2 farklı modelden geçirilerek üst örnekleme işlemi yapılmakta ve kod çözücü çıkışında 256 boyutlu yeniden oluşturulan işaretler elde edilmektedir.

3. BENZETİM SONUÇLARI

3.1. TIMIT Veri Kümesi

Bu çalışmada önerilen konuşma sıkıştırma yönteminin eğitim ve test aşamaları için TIMIT veri kümesi kullanılmıştır. TIMIT veri kümesi, 438 erkek ve 192 kadın olmak üzere toplam 630 konuşmacının kayıtlarını içermektedir. Veri kümesi, 630 konuşmacının her biri tarafından Amerikan İngilizcesinin sekiz ana lehçesini temsil eden on cümlelik kayıtlardan oluşmaktadır. Veri kümesi içerisinde toplam 6300 veri örneği bulunmaktadır [26]. TIMIT veri kümesinin ayırt edici bir özelliği temiz, yüksek kaliteli kayıtlar içermesidir. Barındırdığı konuşma işaretleri ağırlıklı olarak arka plan gürültüsünden arındırılmıştır. Veri kümesindeki her konuşma kaydı 16-bit, 16 kHz dalga biçimlerinden oluşmaktadır. Bu veri kümesi içerisindeki ham konuşma kayıtları için gereken iletim bit hızı 256 kbps olarak hesaplanmaktadır.

Eğitim ve test aşamalarında, her bir konuşma kaydı $[-1, +1]$ aralığına normalize edilmiş ve 256 örnekten oluşan çerçevelere bölünmüştür. Yeni oluşturulan veri kümesi daha sonra %10'u test için, %80'i eğitim için ve kalan %10'u da eğitim sürecinde doğrulama için kullanılmak üzere alt kümelere ayrılmıştır. Bu bölütleme, sıkıştırma yönteminin çok çeşitli konuşma örnekleri üzerinde eğitilmesini ve görülmeyen verilere etkili bir şekilde genelleştirilebilmesini sağlamıştır.

3.2. Başarım Değerlendirme Metrikleri

Sıkıştırma yöntemlerinin başarımları, çeşitli değerlendirme metrikleri kullanılarak değerlendirilebilmektedir. Başarım metrikleri arasında en yaygın olarak ortalama görüş skoru (MOS- Mean Opinion Score) kullanılmaktadır. MOS yöntemi, konuşma sıkıştırma algoritmalarının etkinliğini değerlendirirken insan algısına dayalı öznel bir bakış açısı sağlamaktadır [27].

Öznel değerlendirme metriği olan algısal görüş skorunun haricinde son yapılan çalışmalarda konuşma kalitesinin belirlenmesi için algısal değerlendirme metriği (Perceptual Evaluation of Speech Quality-PESQ) kullanılmaya başlanmıştır [28]. Bu yöntem, önceden eğitilmiş dinleyiciler kullanılarak gerçek dinleme testlerinin bilgisayar ortamında değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu değerlendirme metriği, farklı sıkıştırma tekniklerinin performansını insan algısına dayalı olarak değerlendirir. PESQ skorları -0,5 (çok kötü) ile 4,5 (çok iyi) arasında değişmektedir.

Sıkıştırma oranı (Compression rate - CR) ise özgün konuşma verisinin boyutu ile sıkıştırılmış konuşma verisinin boyutu arasındaki oranı ifade etmektedir. Bu metrik, sıkıştırma yöntemleri tarafından elde edilen sıkıştırma derecesini ölçmektedir. Bunun yanı sıra bps (bit per second), genellikle ses ve konuşma dosyalarının iletilmesi sırasında bir veri iletim hızı birimi (bit per second-bps) olarak kullanılmaktadır. Konuşma sıkıştırma uygulamalarında bps, bir saniyede işlenen veya iletilen bit miktarını ifade etmektedir. Matematiksel olarak, sıkıştırma miktarını ve iletim hızını gösteren ifadeler denklem (1) ve (2)'de sırasıyla gösterilmektedir.

$$CR = \frac{b_{\text{özg}}}{b_{\text{ydo}}} \quad (1)$$

$$bps = \frac{F_s * Q * F}{T} \quad (2)$$

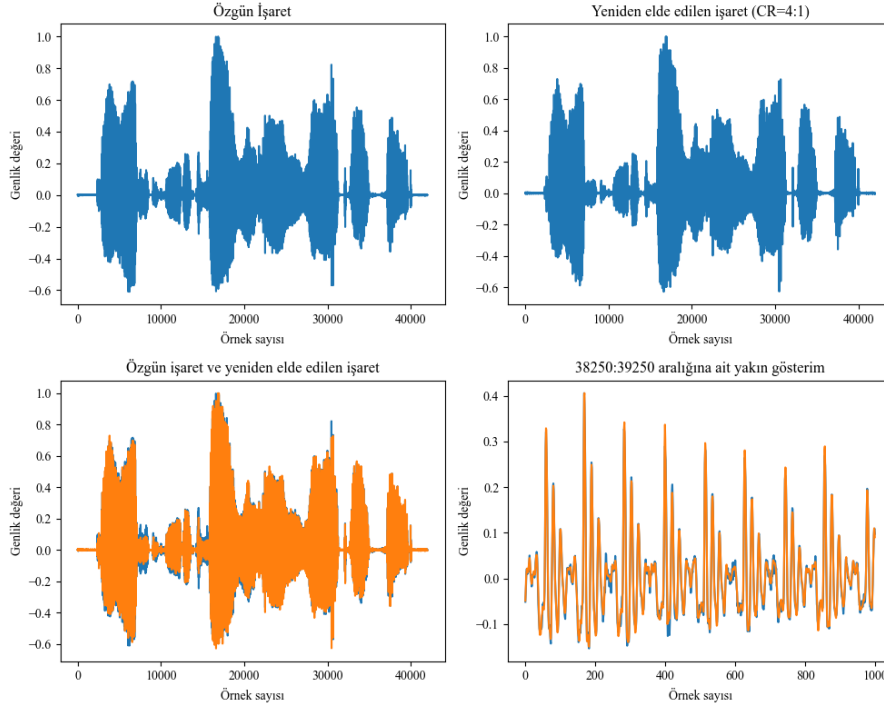
Denklem 1'de $b_{\text{özg}}$ ve b_{ydo} ile sırasıyla özgün işaretin ve yeniden elde edilen işaretin bit sayısını göstermektedir. Denklem 2'de ise bps, F_s , Q ve T ifadeleri ile sırasıyla iletim hızı, örnekleme frekansı, nicemleme değeri ve süre belirtilmektedir.

3.3. Başarım Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Önerilen yöntemin çalışma zamanını değerlendirmek üzere Intel i9 işlemci (2.30 GHz), NVIDIA T2000 GPU ve 64 GB RAM bileşenlerden oluşan dizüstü bilgisayar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 2,5 kbps bit hızı sıkıştırma için gereken hesaplama süresi 3,72 milisaniye iken 1,25 kbps için gereken süre 2,94 milisaniyedir. Önerilen yöntemin başarımı PESQ, CR ve bps metrikleri ile iki farklı durum için incelenmiştir.

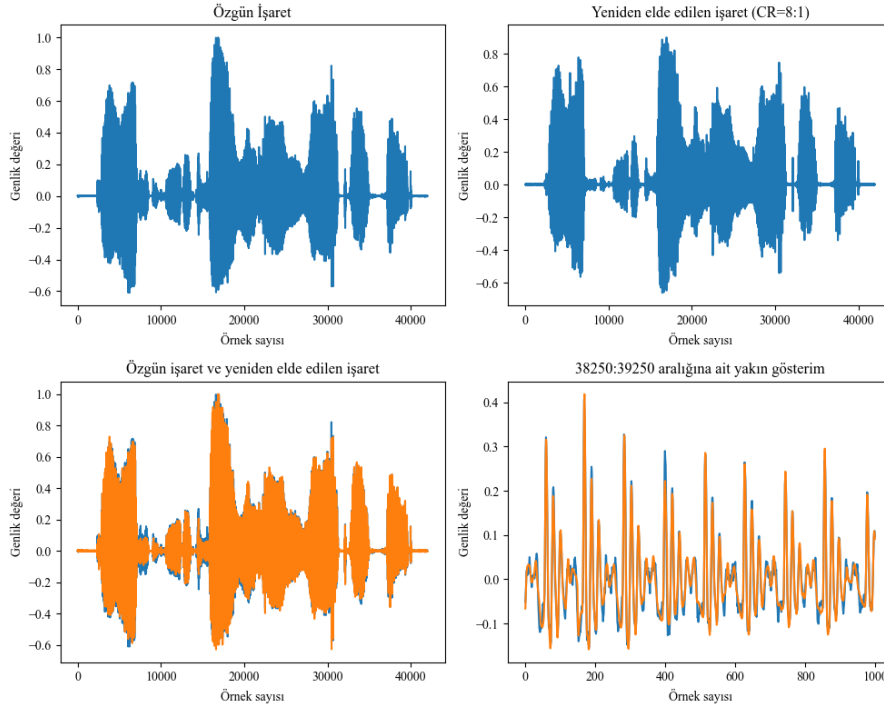
3.4. RVQ Olmadan Derin Öğrenme Tabanlı Sıkıştırma

Konuşma sıkıştırma yönteminin sadece derin öğrenme tabanlı kodlayıcı ve kod çözücü yapısı kullanılarak (RVQ kullanılmadan) eğitilmesi ve test edilmesi sonucu 4:1 oranında sıkıştırılıp yeniden elde edilen işarete ait grafikler Şekil 7’de gösterilmektedir. Şekilde gösterilen işarete ait PESQ değeri 3,11 olarak elde edilmiştir.



Şekil 7. Derin otokodlayıcı yapısı ile 4:1 oranında sıkıştırılıp yeniden elde edilen işaret.

Şekil 8’de ise aynı işaretin 8:1 oranında sıkıştırılması ile elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Sıkıştırma oranının artması ile ses kalitesinde azalma meydana gelmiş ve PESQ değeri 2,95 olarak elde edilmiştir.



Şekil 8. Derin otokodlayıcı yapısı ile 4:1 oranında sıkıştırılıp yeniden elde edilen işaret.

Artık vektör nicemleme yapısı olmadan elde edilen sıkıştırma sonuçları incelendiğinde Tablo 2’de yer alan değerler elde edilmiştir.

Tablo 3. 4:1 ve 8:1 sıkıştırma oranına sahip derin otokodlayıcı modelinin PESQ sonuçları

##	Min. PESQ Değeri	Mak. PESQ Değeri	Ort. PESQ Değeri	Standard Sapma
CR = 4:1	2,336	3,897	3,134	0,272
CR = 8:1	1,726	3,384	2,570	0,274

Önerilen derin otokodlayıcı modeline ilişkin test sonuçları incelendiğinde model girişine verilen özgün konuşma işaretlerinin, minimum 1,726 ve maksimum 3,897 PESQ değerleri ile yeniden elde edildiği gözlemlenmiştir. Tablo 3'te verilen sonuçlar incelendiğinde önerilen derin otokodlayıcı modelinin CR = 4:1 için 3,314 ve CR = 8:1 için 2,57 ortalama PESQ değerleri sağladığı ve her iki sıkıştırma oranı için standart sapmanın yaklaşık 0,27 olduğu görülmektedir.

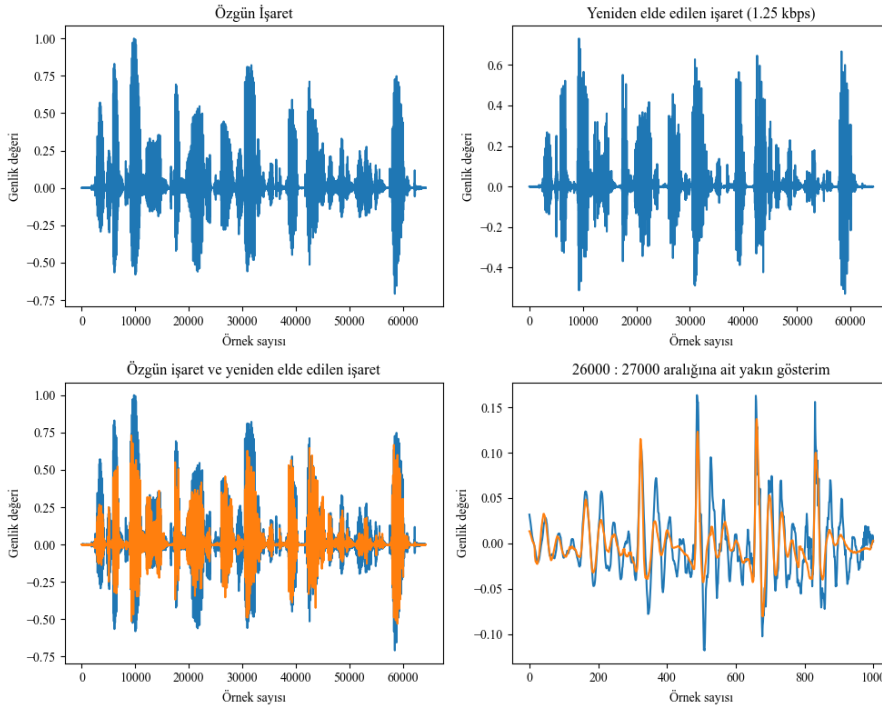
3.5. Derin Otokodlayıcı ve RVQ Tabanlı Sıkıştırma

Önerilen sıkıştırma modelinin sıkıştırma oranını arttırmak için kodlayıcı çıkışlarında değişken sayıda kod kitapçığı kullanılarak artık vektör nicemleme yöntemi kullanılmıştır. Kodlayıcı-1 çıkışından gelen (64:1) boyutlu sıkıştırılmış vektörler, 4 tane 10 bitlik kod kitapçığı ile nicemlenirken, kodlayıcı-2 çıkışından gelen (32:1) boyutlu sıkıştırılmış işaretler 2 tane 10 bitlik kod kitapçığı ile nicemlenmiştir. Bu sayede sıkıştırma oranı 4:1 olan işaretlerin iletim hızı 2,5 kbps olurken, 8:1 olan işaretler 1,25 kbps hızlarında iletilebilmişlerdir. Bu iletim hızlarına karşılık gelen PESQ değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. 1,25 ve 2,5 kbps iletim hızına sahip sıkıştırma modelinin PESQ sonuçları

##	Min. PESQ Değeri	Mak. PESQ Değeri	Ort. PESQ Değeri	Standard Sapma
1,25 kbps	1,273	2,307	1,665	0,184
2,5 kbps	1,382	2,724	1,985	0,206

1,25 kbps iletim hızı ile sıkıştırılmış 1,692 PESQ değerine sahip işarete ait konuşma işareti Şekil 9'da gösterilmektedir.

**Şekil 9.** 1.25 kbps hızında iletilen konuşma işareti.

Önerilen konuşma sıkıştırma yönteminin 630 TIMIT test verisi için farklı sıkıştırma oranlarında elde etmiş olduğu sonuçlar Tablo 5'te karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre SC-DNN en iyi PESQ başarımını elde etmiştir, yöntem 9,02 bit hızını ancak yakalayabilmiştir. Makalede önerilen yöntem 2,5 kbps bit hızında kendisinden çok daha fazla bit hızı gerektiren P-CELP metoduna yakın bir PESQ değeri elde etmiştir. Ayrıca Deep-Vocoder ve SANAC gibi derin öğrenme tabanlı yöntemlere göre daha iyi konuşma kalitesinde yaklaşık üçte bir oranında bit hızında sıkıştırma gerçekleştirebilmiştir. Yazarların bilgisine göre literatürde önerilen yöntemin sağladığı bit hızına yaklaşabilen sadece LPC-10 yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntem ise önerilen yöntemin çok altında PESQ skoru sağlamaktadır. Ayrıca 1,25 kbps gibi düşük bir bit hızına kabul edilebilir konuşma kalitesinde hiçbir yöntem ulaşamamıştır.

Tablo 5. Yöntemlerin sıkıştırma başarımları

Sıkıştırma Yöntemi	Veri Kümesi	Bit Hızı	Ortalama PESQ Değeri
SC-DNN [12]	TIMIT	9,02 kbps	3,629
SANAC [18]	TIMIT	9 kbps	1,66
P-CELP [14]	MHINT	7,5 kbps	2,18
Deep-Vocoder [13]	VoxForge	6,25 kbps	1,977
LPC-10 [6]	TIMIT	2,4 kbps	1,1316
Önerilen Yöntem	TIMIT	2,5 kbps	1,985
Önerilen Yöntem	TIMIT	1,25 kbps	1,665

4. SONUÇ

Bu çalışmada derin otokodlayıcı ve artık vektör nicemlemenin birlikte kullanıldığı konuşma sıkıştırma yöntemi önerilmiş ve kapsamlı deneylerle değerlendirilmiştir. Önerilen model, TIMIT veri seti kullanılarak farklı bit hızlarında test edilmiştir. Başarım sonuçları hem nicemleme işlemi olmadan sadece uçtan uca derin öğrenme tabanlı olacak şekilde incelenmiş, hem de artık vektör nicemleme ile sıkıştırma oranı artırılarak incelenmiştir. Önerilen yöntemin düşük bit hızlarında iletim yapabileceği ortaya konmuştur. Konuşma sıkıştırma yönteminde minimum sayıda eğitilebilir parametre kullanmaya çalışılarak hesaplama maliyeti düşürülmüştür. Ayrıca önerilen derin öğrenme tabanlı sıkıştırma yöntemi farklı oranlarda sıkıştırma miktarı sunarken bunun için tekrar eğitime gerek duymayacak şekilde uçtan uca tasarlanmıştır. Bu sonuçlar, önerilen yöntemin gerçek dünya uygulamalarında kullanılma potansiyelini göstermektedir.

Elde edilen sonuçlara göre önerilen yöntem literatürde yer alan derin öğrenme tabanlı konuşma sıkıştırma çalışmalarının çok üzerinde bir bit hızı sunmaktadır. Ayrıca bunu yaparken elde edilen konuşma kalitesi de bu sıkıştırma yöntemleri ile yarışabilecek düzeydedir. Ancak çok daha düşük sıkıştırma oranı sunan yöntemlerin bazıları çok yüksek PESQ skorları sunmaktadır. Daha eski çalışmalarda yer alan ve sıkıştırma oranı önerilen yönteme yakın olan LPC-10 gibi yöntemler incelendiğinde ise önerilen yöntemin sağladığı konuşma kalitesinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Özetle önerilen yöntem klasik konuşma sıkıştırma algoritmalarının sıkıştırma oranını yeni olan derin öğrenme modellerinin sıkıştırma kalitesiyle sağlayarak gelecekteki çalışmalara farklı bir bakış açısı sağlayacaktır. Ayrıca yazarların güncel bilgisine göre literatürde 1,25 kbps gibi düşük bir bit hızına kabul edilebilir konuşma kalitesinde hiçbir yöntem ulaşamamıştır.

Önerilen yöntemin sağladığı bit hızı ve konuşma kalitesi yöntemi konuşma depolama ve iletişim uygulamaları için uygun bir aday yapmaktadır. Ancak klasik konuşma sıkıştırma yöntemleri ile kıyaslandığında hesaplama süresi çok uzundur. Bu nedenle telsiz, cep telefonu gibi düşük hesaplama imkanlarına sahip cihazlarda algoritmanın gerçek zamanlı çalışması mümkün görünmemektedir. Önerilen yöntemin belirli bir işlemci gücüyle kullanılabilir olması bu yöntemle ilgili en kısıtlayıcı özelliktir. Dahası önerilen yöntem otokodlayıcı ve RVQ tabanlı olduğu için konuşma işareti üzerine bu iki işlemden kaynaklı gürültü binmektedir. Bu da elde edilen konuşma kalitesi skorunun düşük olmasına sebebiyet vermektedir.

İleride yapılacak olan çalışmalarda literatürde daha düşük sıkıştırma oranına sahip derin öğrenme tabanlı yöntemlerin sağladığı yüksek PESQ skorlarına sıkıştırma oranı korunarak ulaşılmaya çalışılacaktır. Bunun için RVQ ve otokodlayıcı sebebiyle konuşma işareti üzerine binen gürültüyü giderecek yöntemler kullanılacaktır. Ayrıca önerilen yöntem konuşma işaretini bir zaman serisi gibi değerlendirmektedir. Halbuki LPC-10 gibi geleneksel yöntemler dalga formunun yakalanmasına dayanmakta ve dalgaların tam konumlarının çok önemli olmadığını göstermektedir. Yeni çalışmalarda birebir zaman serisini kodlamak yerine dalga formunu yakalayabilecek evrimsel ağlar denenecektir. Böyle bir yöntem sıkıştırma oranını artırırken işaretin algısal kalitesini koruyacaktır.

Yazar Katkıları

Yazarlar eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

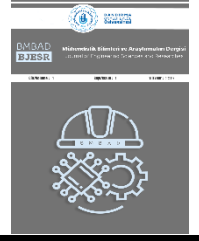
Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma Bursa Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından desteklenmiştir. Proje no: 230D005

KAYNAKÇA

- [1] P.K. Mongia, and R.K. Sharma, "Estimation and statistical analysis of human voice parameters to investigate the influence of psychological stress and to determine the vocal tract transfer function of an individual," Journal of Computer Networks and Communications, vol. 2014, no. 17, pp. 1-17, 2014.

- [2] T.F. Quatieri, "Discrete-time speech signal processing: principles and practice," Pearson Education India, 2002.
- [3] P. Warkade, and A. Mishra, "Lossless Speech Compression Techniques: A Literature Review," International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology, vol. 3, pp. 25-32, 2015.
- [4] T. Ogunfunmi, and M. Narasimha, "Principles of speech coding." CRC Press, 2010.
- [5] L. Rabiner, and R. Schafer, "Theory and applications of digital speech processing." Prentice Hall Press, USA, 2010.
- [6] D. O'Shaughnessy, "Linear predictive coding", IEEE potentials, vol. 7, pp. 29-32, 1988
- [7] M. Schroeder, and B. Atal, "Code-excited linear prediction (CELP): High-quality speech at very low bit rates", IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. vol. 10, pp. 937-940, 1985.
- [8] T. Unno, T.P. Barnwell, and K. Truong, "An improved mixed excitation linear prediction (MELP) coder," IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Proceedings., vol. 1, pp. 245-248, 1999.
- [9] Ü. Güz, H. Gürkan, and B.S. Yarman, "A new method to represent speech signals via predefined signature and envelope sequences," EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol. 2007, pp. 1-17, 2006.
- [10] B.S. Yarman, Ü. Güz, and H. Gürkan, "On the comparative results of 'sympes: A new method of speech modeling'," AEU-International Journal of Electronics and Communications, vol. 60, no. 6, pp. 421-427, 2006.
- [11] A. van den Oord et al., "WaveNet: A Generative Model for Raw Audio," arXiv, Sep. 19, 2016.
- [12] S. Kankanahalli, "End-to-end optimized speech coding with deep neural networks," IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 2521-2525, 2018.
- [13] H.Y. Keles, J. Rozhon, H.G. Ilk, and Voznak, M., "DeepVoCoder: A CNN model for compression and coding of narrow band speech," IEEE Access, vol. 7, pp. 75081-75089, 2019.
- [14] Y.T. Lo, S.S. Wang, Y. Tsao, and S.Y.A. Peng, "Pruned-CELP Speech Codec Using Denoising Autoencoder with Spectral Compensation for Quality and Intelligibility Enhancement," IEEE International Conference on Artificial Intelligence Circuits and Systems, pp. 150-151, 2019.
- [15] K. Zhen, J. Sung, M.S. Lee, S. Beack, and M. Kim, "Cascaded cross-module residual learning towards lightweight end-to-end speech coding," arXiv:1906.07769, 2019.
- [16] D.N. Rim, I. Jang, and H. Choi, "Deep neural networks and end-to-end learning for audio compression," arXiv:2105.11681, 2021.
- [17] J. Byun, S. Shin, Y. Park, J. Sung, and S. Beack, "Optimization of deep neural network (DNN) speech coder using a multi time scale perceptual loss function," in Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association, pp. 4411-4415, 2022.
- [18] H. Yang, K. Zhen, S. Beack, and M. Kim, "Source-aware neural speech coding for noisy speech compression," IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 706-10, 2021.
- [19] J. Zhang, C. Zhao, and W. Gao, "Optimization-inspired compact deep compressive sensing," IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol. 14, no. 4, pp. 765-774, 2020.
- [20] M. Zhang, S. Liu, and Y. Wu, "Compression and Enhancement of Speech with Low SNR based on Deep Learning," IEEE International Conference on Machine Learning, Big Data and Business Intelligence, pp. 242-248, 2022.
- [21] K. Zhen, J. Sung, M. S. Lee, S. Beack, and M. Kim, "Scalable and efficient neural speech coding: A hybrid design," IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol. 30, pp. 12-25, 2022.
- [22] R. Lotfidereshgi, and P. Gournay, "Practical cognitive speech compression," IEEE Data Science and Learning Workshop, pp. 1-6, 2022.
- [23] C. Szegedy, W. Liu, Y. Jia, P. Sermanet, S. Reed, D. Anguelov, and Rabinovich, "A. Going deeper with convolutions," IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 1-9, 2015.
- [24] N. Zeghidour, A. Luebs, A. Omran, J. Skoglund, and M. Tagliasacchi, "Soundstream: An end-to-end neural audio codec," IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol. 30, pp. 495-507, 2021.
- [25] D.P. Kingma, and J. Ba, "Adam: A method for stochastic optimization," arXiv:1412.6980, 2014
- [26] J.S. Garofolo, "TIMIT acoustic-phonetic continuous speech corpus LDC93S1," Linguistic Data Consortium, 1993. [Online]. Available: <https://catalog.ldc.upenn.edu/LDC93S1>
- [27] R.F. Kubichek, "Standards and technology issues in objective voice quality assessment," Digital Signal Processing, vol. 1, no. 2, pp. 38-44, 1991.
- [28] A.W. Rix, J.G. Beerends, M.P. Hollier, and A.P. Hekstra, "Perceptual evaluation of speech quality (PESQ)-a new method for speech quality assessment of telephone networks and codecs," IEEE international conference on acoustics, speech, and signal processing, vol. 2, pp. 749-752, 2001.



Forecasting of the Dental Workforce with Machine Learning Models

Diş Hekimliği İşgücünün Makine Öğrenmesi Modelleri ile Tahmin Edilmesi

¹Abdulkadir ATALAN , ²Hasan ŞAHİN 

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale, Türkiye

²Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yıldırım/Bursa, Türkiye

abdulkadiratalan@gmail.com, hasansahindr@gmail.com

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 19 March 2024

Accepted : 16 April 2024

Keywords:

Dental Workforce, Machine Learning, Forecasting, Healthcare Management

ABSTRACT

This study aimed to predict dentists employed in Turkey with ML (ML) models. The predicted results were obtained by applying ML methods; namely, generalized linear model (GLM), deep learning (DL), decision tree (DT), random forest (RF), gradient boosted trees (GBT), and support vector machine (SVM) were compared. The RF model, which has a high correlation value ($R^2=0.998$) with the lowest error rate ($RMSE=656.6$, $AE=393.1$, $RE=0.025$, $SE=496115.7$), provided the best estimation result. The SVM model provided the worst estimate data based on the values of the performance measurement criteria. This study is the most comprehensive in terms of the dental workforce, which is among the health resources such as physicians, nurses, medical technicians, etc. Finally, we present an example of future applications for ML models that will significantly impact dental healthcare management.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 19 Mart 2024

Kabul : 16 Nisan 2024

Anahtar Kelimeler:

Diş Hekimleri İşgücü, Makine Öğrenimi, Tahmin, Sağlık Yönetimi

ÖZET

Bu çalışma, Türkiye'de çalışan diş hekimlerinin makine öğrenmesi (ML) modelleri ile tahmin edilmesini amaçlamıştır. ML yöntemleri olan genelleştirilmiş lineer model (GLM), derin öğrenme (DL), karar ağacı (DT), rastgele orman (RF), gradyan artırılmış ağaçlar (GBT) ve destek vektör makinesi (SVM) uygulanarak tahmin edilen sonuçlar karşılaştırıldı. En yüksek korelasyon değerine ($R^2=0.998$) ve en düşük hata oranına ($RMSE=656.6$, $AE=393.1$, $RE=0.025$, $SE=496115.7$) sahip olan RF modeli, en iyi tahmin sonucunu sağlamıştır. SVM modeli, performans ölçüm kriterlerinin değerlerine göre en kötü tahmin verilerini sağlamıştır. Bu çalışma hekim, hemşire, tıp teknisyeni vb. sağlık kaynakları arasında yer alan diş hekimliği işgücü açısından en kapsamlı çalışmadır. Son olarak diş sağlığı yönetimini önemli ölçüde etkileyecek ML modelleri için gelecekteki uygulamalara bir örnek sunuyoruz.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. INTRODUCTION

Machine Learning (ML) models, are types of artificial intelligence (AI) that discover patterns specific to the data and query multiple datasets to determine the relationships of parameters [1]. ML is an AI method that focuses on building systems that learn or improve performance based on observed data. ML models are known as the process of training and predicting a certain amount of data by learning a data set in detail [2]. In particular, ML models play a significant role in estimating complex data sets by analyzing them quickly and efficiently [3]. Researchers prefer the ML method to overcome the complex structure created by the data of healthcare systems [4]–[7]. However, machine learning, which is preferred in the field of health, is used in the detection, diagnosis, and prevention, and monitoring of disease progression [8]–[10].

The most important feature that distinguishes this study from other studies is that ML models are not directly related to a medical issue but are related to health management and informatics [11]. The paper proposes that the ML perspective should be used to contribute to the development of data analysis in healthcare management [12]. Measurement criteria values were calculated to compare the performance of the results of the artificial intelligence models used [13]. For this reason, it is possible to compare the forecast data by using multiple forecasting models, and the results of the model with the best performance are preferred [14]. In this study, six different ML models named GLM, DT, DL, RF, GBT, and SVM were run to estimate the number of dentists employed. The performance measurement criteria values of these models were compared for the present paper. This study is motivated to demonstrate the need to use ML models to predict the number of dentists employed in terms of healthcare management in Turkey.

2. LITERATURE REVIEW

ML, has been widely used in the field of health, generally in studies related to disease diagnosis, prevention, and treatment process [15], [16]. Researchers emphasize the importance of using a ML approach for rapid and accurate medical diagnosis and successful treatment of diseases [17], [18].

Table 1. Studies on the dental workforce

Purpose of the Study	Factors	Methods	Ref.
Compare the frequency and duration of career breaks taken by the dental surgeons and evaluate the impact of these and changes in working hours on human resource planning	Age, the proportion of hygienists, the duration of career breaks, GDPs of dental surgeons	Questionnaire survey, statistical analysis	[25]
Forecasting the supply and demand of dental operations in the UK	Staff type, staff cost, treatment hours, treatment type,	Operational research (OR) techniques-linear programming	[26]
Establishing a forecasting model of demand and supply for dentists for workforce planning in dentistry	The age structure of the population, the dentate and edentulous subpopulations of adults,	Forecasting models, statistical analysis	[27]
Literature review on factors influencing oral health workforce planning and management in developing countries (DCs)	Lack of data, the restorative and preventive care, the number of dental schools, the dentistry students, privatization of dental care services, skill mix, the scope of practice, workforce management	Literature review	[28]
Identifying data sources from countries concerned with the selection of oral health indicators in a sample of FDI member countries;	Children oral health care, Behaviors and coverage, Oral health economics, Oral health equality of life	A cross-sectional survey- Mann-Whitney U-tests, statistical analysis	[29]
Develop and operationalize a workforce planning simulation tool based on oral health needs	Gender, age, number of natural teeth, the problem with food/pain, level of service, type of service, frequency of service	Simulation models	[30]
Identify trends in the dental workforce in Oman from 1990 to the present and compare the dental workforce with medical counterparts in Oman and other countries, and assess the future dental workforce in Oman	Dentist workforce, dentist-to-population ratios	Basic integrated model, statistical analysis	[31]
estimating patient and service ratios for oral health therapists (OHTs), dental hygienists (DHs), and dental therapists (DTs)	Age, sector of practice, practice type, length of service, number of dentists, % of child patients, locations,	self-report questionnaire, statistical analysis	[32]
Identifying factors affecting the dental workforce and predicting the optimum dentist	Economic, population, literacy rate, the life of expectancy, dentist workforce	ML Models, SVM, RF, GLM, GB	This Study

FDI: World Dental Federation

ML, which is widely used in general medical issues, has also been used in the field of dental treatment in recent years. The prediction data was obtained using ML for a national health database of data from the National Health and Nutrition Examination Survey to develop recommendations for dental treatment [19]. Another study used ML models to predict the clinical effects of dental diseases, periodontal diseases, trauma and neuralgias, cysts and tumors, glandular, and dental and orofacial diseases, and compared the results [20]. The bayesian algorithm from ML models was used for genomic analysis of head and neck squamous cell carcinomas of oral oncology [21]. Data from a total of 125 patients were compared using ML models to predict the occurrence of BRONJ associated with dental extractions [22]. Using Medicaid data from 24233 pediatric patients over nine years, ML methods were used to group and estimate patients' early childhood by cumulative dental cost curves [23]. Detection and diagnostic predictions of dental caries on periapical radiographs were performed using 3000 periapical radiographic image datasets utilizing the Deep convolutional neural networks (CNNs) algorithm, one of the ML models [24]. Studies conducted within the scope of dental employment are discussed in Table 1.

Some studies reveal predictive data using ML models individually or using multiple algorithms [33], [34]. In this study, we have used six models of machine learning, namely GLM, DL, DT, RF, GBT, and SVM, that are most suitable for the dataset. These models include a wide range of ML techniques that are suitable for capturing the complexity of various features and relationships. The complexity and structural features of the dataset support the use of various models such as GLM, DL, DT, RF, GBT and SVM. This research is a pioneering study since there is no direct study covering the field of health management with a ML approach, and there are very few studies indirectly. However, some studies suggest a ML approach to overcome the extreme complexity and variability of healthcare processes to provide high service quality and cost-effectiveness in health systems [35]. We can assume that ML algorithms have an important role in decision-making in the light of the data obtained in health management, just like in medical issues.

3. METHODOLOGY

3.1. Data Preparation

In this study, data on dependent and independent variables were obtained and run in ML algorithms. For the training and testing phases of ML algorithms, data was shared at 80% and 20% rates. Prediction data was obtained without normalization operations for the data in the data sets. The data of this study was obtained from open access data by Turkish Statistical Institute (TÜİK) [36]. The dependent variable was defined as the number of dentists employed in Turkey between 1960 and 2018 in this study. Fig. 1 shows the number of dentists employed during the selected period. The number of dentists considered includes only those employed in government institutions. The average of the 59-year data was calculated as 11373, while the number of dentists employed in 2018 was 30615. The number of dentists per 1000 people was computed as 0.429 for 2018.

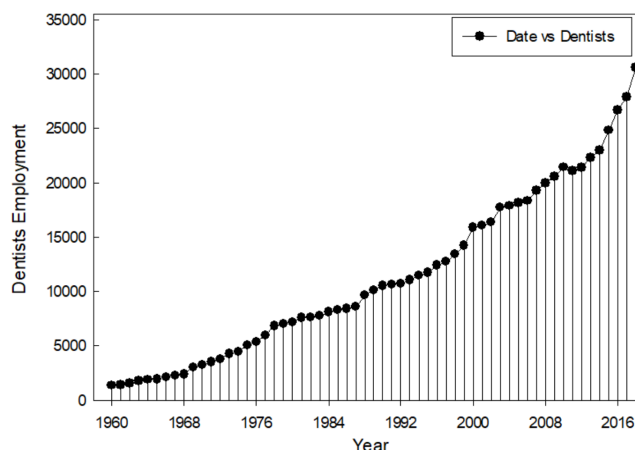


Fig. 1. The dentists employed between 1960-2018.

Country population, gross domestic product per capita (GDP PC), life expectancy, and literacy rate (considered as education factor) that affected the dependent variable were defined as independent or input variables. The changes in the input factors during the considered period were shown in Fig. 2. These factors were preferred to establish the link between the increase in the rate of patients applying to dental clinics and the number of employed dentists. In addition to being directly related to the increase in the country's population and the dental workforce, the desire of people to live for a long time also plays an important role in this relationship. Due to little or no government support for dental treatment in most countries, people have to pay for these treatments out of pocket. In this case, we have taken this factor into account in this study to question the link between people's income rate and dental treatment. With the last input parameter of the study, people's literacy rate data were taken to analyze the importance that educated people attach to dental treatment. There are two cases in the data used for this factor. The data used belong to the literacy rates of people aged 15 and over. The other case consists of annual data

between 2004-2018 and five-year data between 1960 and 2004. The data for the years in which literacy rates could not be reached were formed by taking the average values of the differences between the two years.

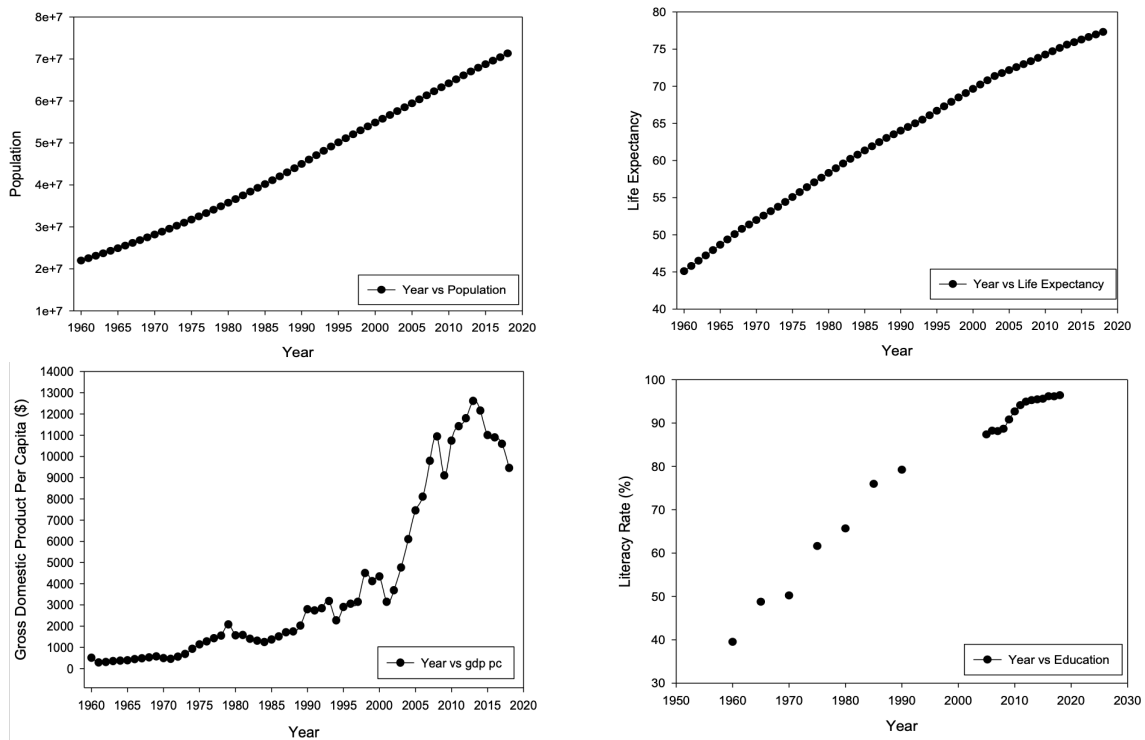


Fig. 2. The input parameters between 1960-2018.

3.2. ML Algorithms

The number of dentists employed annually was estimated using ML models in the second stage of the study. Among the ML models, generalized linear model (GLM), deep learning (DL), decision tree (DT), random forest (RF), gradient boosted trees (GBT), and support vector machine (SVM), which are the most used by researchers, were preferred in this study. Each model tries to predict the response function with different algorithms. The GLM model works with the logic of regression analysis. The DL approach is an algorithm that uses representative data from the previous layer to explore complex systems and predict expected data at each layer of a machine. The DT model minimizes errors by classifying them as decision trees to increase the prediction accuracy of complex structures. The RF prediction model predicts data by classifying test data such as DT and working with a culture of regression analysis similar to the GLM model. GBT model is a ML technique based on the gradient-assisted tree algorithm. The SVM model has an algorithm developed by classifying (at least two classifications) the data in the data set for the prediction data. In creating a subset of the clusters created in the ML models dataset, some newly created feature selection is required. A feature set has a different number of complexities, achieving an error rate. For this reason, as in Table 2, each model selects features to provide the most consistent results for itself.

Table 2. The feature selection information of ML models

Model	Selected Feature Numbers	Population	Life Expectancy	GDP PC	Literacy Rate	Evaluated Feature	Generated Future
GLM	3.00	✓	✓	✓		1376.0	111.0
DL	2.00		✓	✓		460.00	63.00
DT	1.00				✓	3628.0	166.0
RF	3.00	✓	✓		✓	2589.0	178.0
GBT	3.00	✓	✓		✓	143.00	21.00
SVM	2.00		✓	✓		1817.0	95.00

Nearly 59 data of all data (80 %) were used for the training phase, while the remaining data (20 %) were used for the testing phase [24]. Rapid Miner 9.1 software was used to obtain predicted results of ML models in this study. Estimating the number of dentists employed was provided using six different ML models in the present study. In order to make a comparison between these models, some performance criteria need to be calculated. These criteria are included in ML as Relative error (RE), root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), mean squared error (MSE), and the coefficient of correlation (R^2), respectively. The equations used for performance measurement are given below:

$$\epsilon = y_i - \tilde{y}_i \tag{3}$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2 \tag{4}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \tilde{y}_i| \tag{5}$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \tilde{y}_i| * 100 \tag{6}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}{n}} \tag{7}$$

$$R^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\tilde{y}_i - y_i}{y_i - \bar{y}_i} \right]^2 \tag{8}$$

where y_i , \bar{y}_i , and \tilde{y}_i represent the actual value in the data set, the average value of the data set in the data, and the predictive values generated by ML models, respectively. n is the number of samples in a dataset. The margin of error ϵ value computes between the actual data and the forecast data. MSE, MAE, RE, and MAPE are the performance measurement tools that minimize empirical predictive values in ML models. The value of R^2 takes a number between 0.00-1.00. In ML models, the option of determining the variables that will give the best result for which model by applying feature selection is widely used.

4. RESULTS OF THE STUDY

In most studies, the results are compared using one or more of the ML models. In this study, a comparison was made using six models of the ML method. Interpretations of the results are provided by considering many parameters for the comparison of the models. This error rate is considered the training error rate. The test error verified in the data set is higher than the training error. When creating feature sets, it is desirable to have low complexity and low error rates. Especially in small-scale data, prediction data with low error in predictive data is derived by feature selection. However, it is not possible to both reduce the error rate and minimize the complexity. However, using fewer features allows ML models to train faster and have fewer errors than predictive values.

The statistical results of the performance measurement criteria of ML models were discussed in Tables 3-7 in detail. The software used to ensure that the estimated results are ready provides more than 1000 points per second for the real-time scoring method, making it balanced in the estimated data. For models whose input parameters correspond to uncontrollable parameters, results are provided quickly. The time used for the estimation data obtained for the solution in these tables is based on seconds. The correlation values, one of the performance criteria, express the connection between the estimated results obtained by the models and the actual results. The RF model showed the best performance with a correlation value of 0.998. As a result of comparing the models with RMSE, AE, RE, and SE data, RF has a low margin of errors with values of 656.6, 393.1, 0.025, and 496115.7, respectively. The RF ML model has the best prediction results compared to other models in terms of all these results.

Table 3. The statistical results of the performance measurement criteria of ML models

Model	Correlation	Standard Deviation	Total Time	Training Time (1,000 Rows)	Scoring Time (1,000 Rows)
GLM	0.996	0.0005	101548.0	127.1	0.0
DL	0.996	0.0012	103729.0	711.9	0.0
DT	0.991	0.0054	35598.0	0.0	0.0
RF	0.998	0.0019	94435.0	84.7	106.4
GBT	0.989	0.0077	113857.0	1745.8	42.6
SVM	0.975	0.0215	21122.0	59.3	21.3

Table 4. The RMSE values of the models

Model	RMSE	Standard Deviation	Total Time	Training Time (1,000 Rows)	Scoring Time (1,000 Rows)
GLM	763.2	103.20	101548.0	127.1	0.0
DL	809.8	68.700	103729.0	711.9	0.0
DT	1403.6	529.00	35598.0	0.0	0.0
RF	656.6	285.00	94435.0	84.7	106.4
GBT	1437.1	751.20	113857.0	1745.8	42.6
SVM	3012.3	1623.0	21122.0	59.3	21.3

As a result of statistical data of other models, GLM, DL, DT, GBT, and SVM correlation values were calculated as 0.996, 0.996, 0.991, 0.989, and 0.975, respectively. GLM and DT models have data of consistent estimation results with high correlation values among the five models. The RSME values of GLM, DL, DT, GBT, and SVM

Table 5. The AE values of the models

Model	AE	Standard Deviation	Total Time	Training Time (1,000 Rows)	Scoring Time (1,000 Rows)
GLM	571.7	59.80	101548.0	127.1	0.0
DL	563.0	40.00	103729.0	711.9	0.0
DT	732.5	211.8	35598.0	0.0	0.0
RF	393.1	144.1	94435.0	84.7	106.4
GBT	721.1	339.1	113857.0	1745.8	42.6
SVM	1847.5	947.8	21122.0	59.3	21.3

Table 6. The RE values of the models

Model	RE	Standard Deviation	Total Time	Training Time (1,000 Rows)	Scoring Time (1,000 Rows)
GLM	0.049	0.0058	101548.0	127.1	0.0
DL	0.045	0.0050	103729.0	711.9	0.0
DT	0.041	0.0084	35598.0	0.0	0.0
RF	0.025	0.0069	94435.0	84.7	106.4
GBT	0.043	0.0155	113857.0	1745.8	42.6
SVM	0.097	0.0299	21122.0	59.3	21.3

Table 7. The SE values of the models

Model	SE	Standard Deviation	Total Time	Training Time (1,000 Rows)	Scoring Time (1,000 Rows)
GLM	591024.7	157469.400	101548.0	127.1	0.0
DL	659570.6	108376.400	103729.0	711.9	0.0
DT	2193889.0	1192405.30	35598.0	0.0	0.0
RF	496115.7	337975.200	94435.0	84.7	106.4
GBT	2516592.0	2038691.30	113857.0	1745.8	42.6
SVM	11180992.9	10754187.8	21122.0	59.3	21.3

were calculated as 763.2, 809.8, 1403.6, 1437.1, and 3012.3, respectively. Likewise, GLM and DT have low errors compared to the RMSE values of the models. The AE values of GLM, DL, DT, GBT, and SVM were computed as 571.7, 563.0, 732.5, 721.1, and 1847.5, respectively. The RE values of GLM, DL, DT, GBT, and SVM were estimated as 0.049, 0.045, 0.041, 0.043, and 0.097, respectively. DT and GBT models have data of consistent estimation results with low RE values. The SE values of GLM, DL, DT, GBT, and SVM were computed as 591024.7, 659570.6, 2193889.0, 2516592.0, and 11180992.9, respectively. GLM and DT models have lower SE values than other models in this performance criterion and the values of RMSE and AE. According to the values of the performance measurement criteria, RF provides the best estimate of the most response variable, while SVM provides the worst estimate data.

The comparison between the estimated the dental workforce and the actual number according to the RF algorithm that exhibits the best performance from the ML models was shown in Fig.3. Approximately 12 data were estimated since about 80% of all data was used for the training (or education) phase and the remaining 20% for the testing phase. It is understood that there is considerable consistency between the forecast data and the actual data. We observed that only the 7th (-1164), 9th (2015), and 12th (2135) testing data differ from the estimated data and the actual data. The most negligible difference value between the actual data and the prediction data was obtained in the 4th test data (38). The RF model has shown that early estimation of dental workforce is key to the possibility of advance planning in healthcare management for Turkey.

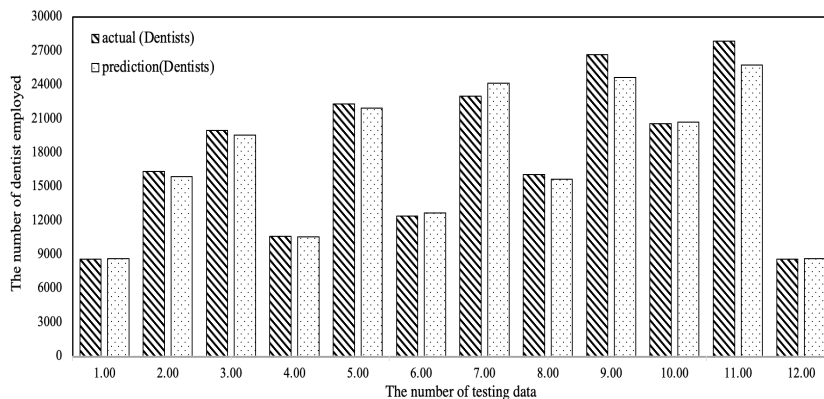


Fig. 3. Estimated and actual values of the number of dentists employed by the RF model.

This study has some limitations. The analysis is limited to four input factors, eliminating factors that cannot accommodate long-term data. Therefore, the effects of variables with other demographic characteristics on the dental workforce could not be analyzed. A second limitation is the literacy rate data selected among the

independent parameters to reflect the education level in the country. Otherwise, this study does not directly include the education level factor when there is no long-term data on education level. We have wanted to underline that the data obtained in this study were taken into account by four independent factors. Another limitation is that the dental workforce is limited only to those working in government-supported institutions. Since there is no official data on the dental workforce in private dental clinics, they were not included in the study.

Health expenditure rates in countries are increasing day by day [37]. One of the biggest shares in health expenditures is health resources. Using alternative resource allocation techniques in dental health care, more information about the economic impact can be provided to decision-makers, namely policymakers [38]. Inefficient resource management negatively affects health systems in terms of cost and time [19]. For this reason, it is inevitable to use the ML method, which is one of the most up-to-date methods of today. This study offers a solution to the resource management problem in health management with the machine learning.

5. CONCLUSIONS AND PERSPECTIVE

By running ML models, namely, GLM, DT, DL, RF, GBT, and SVM, performance measurement criteria values were compared to show the consistency of the estimated data on the dental workforce. Among the ML models, the model with the best performance was defined as RF, while the model with the worst prediction data was determined as SVM. To conclude, ML models provide the opportunity to know the problems that may occur by obtaining predictive data and sensitivity analyses in many areas. The potential of ML in overcoming the complexity of various data and the difficulties encountered in healthcare management has been revealed in this study. The most crucial reason for consistent data in healthcare management is the human factor. In order to minimize the cost of human resources in healthcare, ML models must be needed to overcome the data of this complex system. ML models are generally used in medical diagnosis in the field of healthcare. This paper showed using algorithms that allow ML to be developed for predictive data to enable more data-driven health informatics and management solutions. We have emphasized that ML models should be used in healthcare and non-medical issues and issues related to healthcare management. The implications for health management research are that there is no doubt that health system management will become more dependent on ML models of complex data such as health resources, health economics, patient rights, patient's and health professional's satisfaction, and so on. Finally, we present an example of future applications for ML models that will significantly impact healthcare system management.

Author Contributions

Each author has contributed equally to the work.

Conflict of interest

The author declares that there is no conflict of interest.

REFERENCE

- [1] M.A. Myszczyńska et al., "Applications of machine learning to diagnosis and treatment of neurodegenerative diseases," *Nat. Rev. Neurol.*, vol. 16, no. 8, pp. 440–456, Aug. 2020.
- [2] F. Schwendicke, W. Samek, and J. Krois, "Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges," *J. Dent. Res.*, vol. 99, no. 7, pp. 769–774, Jul. 2020.
- [3] M.I. Jordan and T.M. Mitchell, "Machine learning: Trends, perspectives, and prospects," *Science (80-.)*, vol. 349, no. 6245, pp. 255–260, Jul. 2015.
- [4] A. Atalan, "Forecasting for Healthcare Expenditure of Turkey Covering the Years of 2018-2050," *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilim. Derg.*, vol. 9, no. 1, pp. 8–16, Apr. 2020.
- [5] P. Karmani, A.A. Chandio, I.A. Korejo, and M.S. Chandio, "A Review of Machine Learning for Healthcare Informatics Specifically Tuberculosis Disease Diagnostics," in *Intelligent Technologies and Applications*, 2019, pp. 50–61.
- [6] K. Shailaja, B. Seetharamulu, and M.A. Jabbar, "Machine Learning in Healthcare: A Review," in *2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, IEEE, Mar. 2018, pp. 910–914.
- [7] S.S.R. Abidi, P.C. Roy, M.S. Shah, J. Yu, and S. Yan, "A Data Mining Framework for Glaucoma Decision Support Based on Optic Nerve Image Analysis Using Machine Learning Methods," *J. Healthc. Informatics Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 370–401, Dec. 2018.
- [8] I. Kononenko, "Machine learning for medical diagnosis: history, state of the art and perspective," *Artif. Intell. Med.*, vol. 23, no. 1, pp. 89–109, Aug. 2001.
- [9] P. Sajda, "Machine Learning For Detection And Diagnosis Of Disease," *Annu. Rev. Biomed. Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 537–565, Aug. 2006.
- [10] Z. Liao, D. Li, X. Wang, L. Li, and Q. Zou, "Cancer Diagnosis Through IsomiR Expression with Machine Learning Method," *Curr. Bioinform.*, vol. 13, no. 1, pp. 57–63, Feb. 2018.
- [11] A. Atalan, H. Şahin, and Y.A. Atalan, "Integration of Machine Learning Algorithms and Discrete-Event Simulation for the Cost of Healthcare Resources," *Healthcare*, vol. 10, no. 10, p. 1920, Sep. 2022.

- [12] A. Atalan, "Effect Of Healthcare Expenditure On The Correlation Between The Number Of Nurses And Doctors Employed," *Int. J. Heal. Manag. Tour.*, vol. 6, no. 2, pp. 515–525, Jul. 2021.
- [13] Y.E. Ayözen, H. İnaç, A. Atalan, and C.Ç. Dönmez, "E-Scooter Micro-Mobility Application for Postal Service: The Case of Turkey for Energy, Environment, and Economy Perspectives," *Energies*, vol. 15, no. 20, p. 7587, Oct. 2022.
- [14] A. Atalan and A. Keskin, "Estimation of the utilization rates of the resources of a dental clinic by simulation," *Sigma J. Eng. Nat. Sci. – Sigma Mühendislik ve Fen Bilim. Derg.*, vol. 41, no. 2, pp. 423–432, 2023.
- [15] K.K. Joshi, K.K. Gupta, and J. Agrawal, "A Review on Application of Machine Learning in Medical Diagnosis," in *2nd International Conference on Data, Engineering and Applications (IDEA)*, IEEE, Feb. 2020, pp. 1–6.
- [16] Y.A. Atalan and A. Atalan, "Integration of the Machine Learning Algorithms and I-MR Statistical Process Control for Solar Energy," *Sustainability*, vol. 15, no. 18, p. 13782, Sep. 2023.
- [17] G. Gunçar et al., "An application of machine learning to haematological diagnosis," *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, p. 411, Dec. 2018.
- [18] A. Atalan, "Forecasting drinking milk price based on economic, social, and environmental factors using machine learning algorithms," *Agribusiness*, vol. 39, no. 1, pp. 214–241, Jan. 2023.
- [19] M. Hung et al., "Development of a recommender system for dental care using machine learning," *SN Appl. Sci.*, vol. 1, no. 7, p. 785, Jul. 2019.
- [20] T.H. Farook, N. Bin Jamayet, J.Y. Abdullah, and M.K. Alam, "Machine Learning and Intelligent Diagnostics in Dental and Orofacial Pain Management: A Systematic Review," *Pain Res. Manag.*, vol. 2021, pp. 1–9, Apr. 2021.
- [21] P. Sebastiani, Y.-H. Yu, and M.F. Ramoni, "Bayesian Machine Learning and Its Potential Applications to the Genomic Study of Oral Oncology," *Adv. Dent. Res.*, vol. 17, no. 1, pp. 104–108, Dec. 2003.
- [22] D.W. Kim, H. Kim, W. Nam, H.J. Kim, and I.-H. Cha, "Machine learning to predict the occurrence of bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaw associated with dental extraction: A preliminary report," *Bone*, vol. 116, pp. 207–214, Nov. 2018.
- [23] J. Peng, X. Zeng, J. Townsend, G. Liu, Y. Huang, and S. Lin, "A Machine Learning Approach to Uncovering Hidden Utilization Patterns of Early Childhood Dental Care Among Medicaid-Insured Children," *Front. Public Heal.*, vol. 8, Jan. 2021.
- [24] J.-H. Lee, D.-H. Kim, S.-N. Jeong, and S.-H. Choi, "Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm," *J. Dent.*, vol. 77, pp. 106–111, Oct. 2018.
- [25] J.T. Newton, D. Buck, and D.E. Gibbons, "Workforce planning in dentistry: the impact of shorter and more varied career patterns," *Community Dent. Health*, vol. 18, no. 4, p. 236–241, Dec. 2001, [Online]. Available: <http://europepmc.org/abstract/MED/11789702>.
- [26] P. Harper, E. Kleinman, J. Gallagher, and V. Knight, "Cost-effective workforce planning: optimising the dental team skill-mix for England," *J. Enterp. Inf. Manag.*, vol. 26, no. 1/2, pp. 91–108, Feb. 2013.
- [27] G. Try, "Too Few Dentists? Workforce Planning 1996–2036," *Prim. Dent. Care*, vol. os7, no. 1, pp. 9–13, Jan. 2000.
- [28] R. Knevel, M. Gussy, and J. Farmer, "Exploratory scoping of the literature on factors that influence oral health workforce planning and management in developing countries," *Int. J. Dent. Hyg.*, vol. 15, no. 2, pp. 95–105, May 2017.
- [29] N. Yamalik, E. Ensaldó-Carrasco, and D. Bourgeois, "Oral health workforce planning Part 1: data available in a sample of FDI member countries," *Int. Dent. J.*, vol. 63, no. 6, pp. 298–305, Dec. 2013.
- [30] S. Ahern, N. Woods, O. Kalmus, S. Birch, and S. Listl, "Needs-based planning for the oral health workforce - development and application of a simulation model," *Hum. Resour. Health*, vol. 17, no. 1, p. 55, Dec. 2019.
- [31] J.E. Gallagher, S. Manickam, and N.H. Wilson, "Sultanate of Oman: building a dental workforce," *Hum. Resour. Health*, vol. 13, no. 1, p. 50, Dec. 2015.
- [32] D.N. Teusner, N. Amarasena, J. Satur, S. Chrisopoulos, and D.S. Brennan, "Dental service provision by oral health therapists, dental hygienists and dental therapists in Australia: implications for workforce modelling," *Community Dent. Heal.*, vol. 33, no. 1, pp. 15–22, 2016.
- [33] R.A. Welikala et al., "Genetic algorithm based feature selection combined with dual classification for the automated detection of proliferative diabetic retinopathy," *Comput. Med. Imaging Graph.*, vol. 43, pp. 64–77, Jul. 2015.
- [34] Y.V. Srinivasa Murthy and S.G. Koolagudi, "Classification of vocal and non-vocal segments in audio clips using genetic algorithm based feature selection (GAFS)," *Expert Syst. Appl.*, vol. 106, pp. 77–91, Sep. 2018.
- [35] O.S. Pinykh et al., "Improving healthcare operations management with machine learning," *Nat. Mach. Intell.*, vol. 2, no. 5, pp. 266–273, May 2020.
- [36] TÜİK, "Sağlık İstatistikleri, İstatistiksel Tablolar ve Dinamik Sorgulama," Türkiye İstatistik Kurumu, 2021. https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1095
- [37] A. Atalan, C.Ç. Dönmez, and Y. Ayaz Atalan, "Yüksek-Eğitilmiş Uzman Hemşire İstihdamı ile Acil Servis Kalitesinin Yükseltilmesi için Simülasyon Uygulaması: Türkiye Sağlık Sistemi," *Marmara Fen Bilim. Derg.*, vol. 30, no. 4, pp. 318–338, Dec. 2018.
- [38] C.R. Vernazza, S. Birch, and N. B. Pitts, "Reorienting Oral Health Services to Prevention: Economic Perspectives," *J. Dent. Res.*, vol. 100, no. 6, pp. 576–582, Jun. 2021.



Termik Güç Santrali ve Fotovoltaik Güneş Enerji Sisteminden Oluşan Güç Sisteminde Üstel PI Denetleyici ile Sekonder Frekans Regülasyonu

Secondary Frequency Regulation Using Exponential PI Controller for a Power System Comprising of Thermal Power Plant and PV Solar Energy System

¹Emre ÇELİK

¹Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Düzce, Türkiye

emrecelik@duzce.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 20 March 2024

Accepted : 15 April 2024

Keywords:

Secondary Frequency Regulation, Exponential PI Controller, Thermal Power Plant, PV Solar Energy System, Snake Optimizer,

ABSTRACT

Imbalance between power generation and load demand causes unwanted undulations in frequency and tie-line power responses. These undulations closely affect the reliability/security of the power system, quality of the energy generated and the end user. In accomplishing generation suitable for consumption, secondary frequency regulation (SFR) is an inevitable control technique. In this brief, an exponential PI (EXP-PI) controller is proposed to enhance the performance of SFR in an interconnected power system. Snake optimizer (SO), one of the computational intelligence techniques, is benefitted for adjusting the controller parameters optimally. This way, without the requirement of an expert knowledge, controller parameters are searched optimally by minimizing the value of integral of time-multiplied absolute error (ITAE). To confirm the contribution of SO tuned EXP-PI controller, comparisons with the works in literature are established. It is deduced from the obtained results that the system performance with our proposal has enhanced in terms of oscillation, settling time, maximum overshoot/undershoot and ITAE value of the frequency and tie-line power responses.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 20 Mart 2024

Kabul : 15 Nisan 2024

Anahtar Kelimeler:

Sekonder Frekans Regülasyonu (SFR), Üstel PI Denetleyici, Termik Güç Santrali, Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemi, Yılan Arama Algoritması

ÖZET

Güç üretimi ve yük talebi arasında yaşanan bir uyumsuzluk frekans ve bağlantı hattı güç tepkilerinde arzu edilmeyen salınımlara neden olur. Bu salınımlar güç sisteminin güvenilirliğini/güvenliğini, üretilen enerjinin kalitesini ve son kullanıcıları yakından etkilemektedirler. Tüketime uygun üretimin gerçekleştirilmesinde sekonder frekans regülasyonu (SFR) kaçınılmaz bir kontrol tekniğidir. Bu çalışmada enterkonnekte bir güç sisteminde SFR performansının artırılması için üstel PI denetleyicisi önerilmiştir. Denetleyici parametrelerinin optimum ayarı için işlemsel zekâ tekniklerinden yılan arama algoritmasından (YAA) faydalanılmıştır. Böylece denetleyici parametreleri zaman ağırlıklı mutlak hatanın integral (ITAE) değeri en az yapılacak şekilde uzman bilgisine gerek duyulmadan optimum şekilde araştırılmıştır. YAA tabanlı üstel PI denetleyicinin alana katkısını doğrulamak amacıyla literatürdeki çalışmalarla karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir. Elden edilen sonuçlardan önerilen yöntem ile sistem performansının frekans ve bağlantı hattı güç tepkilerindeki osilasyon, oturma süresi, maksimum pozitif/negatif aşım ve ITAE değerleri bakımından iyileştiği anlaşılmıştır.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Teknolojik ilerlemeler, endüstriyel alanlardaki geniş ölçekli büyümeler ile hızlı nüfus artışı elektrik enerjisine olan talebi oldukça artırmaktadır. Ayrıca enerji kaynaklarının sınırlı oluşu, toplumların çevre kirliliği konusunda daha fazla bilinçlenmeleri ve elektrik enerjisinin kayda değer oranlarda depolanamayışı elektrik enerjisinin anlık ihtiyaçlara cevap verecek büyüklüklerde verimli bir şekilde üretilerek tüketicilere daha az kayıplarla iletilmesi gibi temel mühendislik problemlerini oluşturmaktadırlar.

Frekans, güç sistemlerinin kararlılığını etkileyen en önemli parametrelerin başında gelir. Üretilen ve tüketilen güç dengesiyle sabit tutulan frekans değeri bazı Avrupa ve Amerika ülkelerinde 60 Hz iken ülkemizde 50 Hz değerindedir. 10/11/2004 tarihli ve 25639 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliğinde belirtildiği üzere sistemin nominal frekansı TEİAŞ tarafından 50 Hertz (Hz) etrafında 49.8-50.2 Hz aralığında, ± 200 mHz’lik frekans sapması ile hedeflenen işletme koşullarında kontrol edilir. Sapmanın belirlenen aralığın dışına çıkması sistem kararlılığı ve emniyeti açısından tehlike arz eder. En kötü senaryoda sistemde kesintiler/şebeke çökmesi yaşanır. Geçmişte bazı şebeke çökmeleri 1999 yılı Mart ayında Brezilya’da, 2001 ve 2002 yıllarının bahar dönemlerinde İran’da, 2003 yılı Ağustos ayında kuzey Amerika’da, 2014 yılı Kasım ayında Bangladeş’te, 2019 yılı Mart ayında Venezuela’da (dünyadaki en uzun kesinti) yaşanmıştır [1]. 31 Mart 2015 tarihinde Türkiye’de de 9 saatlik bir elektrik güç kesintisi yaşanmış ve ülkemiz bu durumdan etkilenmiştir.

Elektrik şebekelerinde frekansı etkileyen en önemli değişken aktif güçtür. Frekansın sabit kalabilmesi üretilen ve tüketilen güç dengesi ile mümkündür [2]. Öyle ki üretilen toplam aktif güç, iletim hattı kayıpları ile alıcı güçleri toplamına eşit olmalıdır. Üretilen enerji talep edilenden fazla olursa frekans artacak, talep edilen enerji üretilen enerjiden fazla olursa bu kez frekans düşecektir. Frekansın değişimi enterkonnekte güç sistemlerinde geçici bağlantı hatları arası güç alışverişine neden olacaktır. İşte elektrik şebekelerinde kararlılığın iyileştirilmesi, sistemin güvenli çalışabilmesi için enerji üretim tesislerinin aktif güç çıkışını talebe uygun şekilde artırarak veya azaltarak sistem frekansını mümkün olduğunca hızlı şekilde nominal değerine getirme işine sekonder frekans regülasyonu (SFR) denilmektedir. Bu sayede komşu elektrik şebekeleriyle olan toplam güç alışverişi programlanan değere getirilmiş olur [3, 4]. Tüketilen enerjinin bir hayli karmaşık ve sürekli değiştiği günümüz dünyasında üretilen ve talep edilen güç arasındaki uyumu sağlamak ve böylece frekans sapsmaları ile bölgeler arası salınımları sönmüleyebilmek için etkin ve hızlı cevap verebilecek bir denetim organına gereksinim vardır. İyi tasarlanmış bir denetleyicinin tesisi ile istemin güvenli, güvenilir ve kararlı işletimine katkı sağlanır, aynı zamanda uluslararası elektrik enerjisi ticaret hacmi artırılır.

Literatürde değişik güç sistemlerinde SFR ile ilgili çok çeşitli araştırma makaleleri bulunmaktadır. İki bölgeli bir güç sisteminde SFR için PI ve PID denetleyicileri önerilmiştir [1]. Denetleyici parametreleri klasik Ziegler-Nichols tabloları ile tespit edilip modele uygulanmıştır. Yük değişimi sonrası SFR sayesinde her iki denetleyicide kalıcı frekans hatası sıfır yapıp frekans anma değerinde tutulmuştur. PID denetleyicinin gerek oturma süresi gerekse osilasyon açısından PI denetleyiciye göre çok daha iyi sonuç verdiği anlaşılrsa da arzu edilen tepkileri elde etmede her iki denetleyici zayıf kalmıştır. Ayrıca Ziegler-Nichols yöntemi ile verilen kurallar optimum denetleyici parametrelerinin tespitinde başarısızdırlar. Bu kuralların yerini artık etkin biçimde meta-sezgisel algoritmalar almıştır. Meta-sezgisel algoritmalarla bilinmeyen denetleyici parametreleri etkili şekilde, makul bir sürede araştırılabilir.

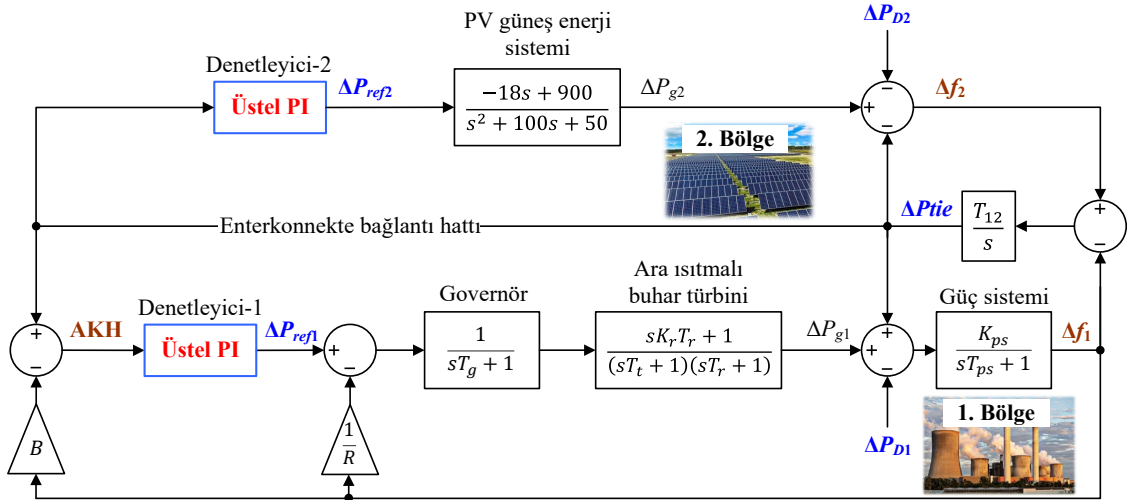
Hibrit bakteriyel besin arama algoritması-parçacık sürüsü optimizasyonu (hBBAA-PSO) [5], diferansiyel gelişim algoritması (DGA) [6], genetik algoritma (GA) [7] ve ateş böceği algoritması (ABA) [7] ile klasik PI denetleyici parametreleri elde edilmiştir. Hibrit stokastik fraktal arama algoritması-desen arama tekniği (hSFAA-DA) [8], simbiyotik organizmalar arama (SOA) algoritması [9] ve DGA [10] ile PID denetleyici parametreleri elde edilmiştir. [9] numaralı kaynakta SOA tekniği ile PID denetleyici parametrelerinin tespiti yeni bir amaç fonksiyonu ile gerçekleştirilmiş ve etkili sonuçlar elde edilmiştir. Bir başka başarılı çalışmada iyileştirilmiş stokastik fraktal arama algoritması PID denetleyici parametrelerinin en uygun değerlerinin bulunmasında kullanılmıştır [11]. İlgili çalışmada standart amaç fonksiyonlarından farklı olarak daha makul yeni bir amaç fonksiyonu önerilmiştir. [12] ve [13] numaralı çalışmalarda öğretim-öğrenmeye dayalı optimizasyon algoritması (ÖÖOA) ile PID ve iki serbestlik dereceli PID (2SD PID) denetleyici parametreleri elde edilmiştir. [14]’de hibrit parçacık sürü optimizasyonu-desen arama (hPSO-DA) tekniği ile bulanık PI denetleyici parametreleri elde edilmiştir. [15]’de ise iyileştirilmiş gri kurt optimizasyon (GGKO) algoritması kullanılarak PI, PID ve eklemeli PI-PD denetleyici parametrelerinin en uygun değerleri bulunmuştur. Daha yeni bir çalışmada son zamanda ortaya konulan aritmetik optimizasyon algoritması (AOA) iki bölgeli termik ve fotovoltaik güç sisteminde SFR performansının artırılması amacıyla PI denetleyici parametrelerinin elde edilmesinde kullanılmıştır [16]. Elde edilen sonuçlar [7]’de verilen sonuçlarla benzer şartlarda karşılaştırılmış ve AOA’nın GA ile ABA algoritmasından daha üstün cevap eğrileri sunduğu görülmüştür.

Mevcut denetim tekniklerine alternatif olarak üstel PI denetleyici ilk defa [17]’de önerilmiş ve sabit mıknatıslı DA servo motorun kapalı çevrim hız denetimine başarılı şekilde uygulanmıştır. Önerilen yöntemde kontrol hatası PI denetleyiciye uygulanmadan önce üstel bir fonksiyona verilmektedir. Üstel fonksiyon doğrusal olmadığından giriş sinyali doğrusal olmayan şekilde işlenmiş olmaktadır. Elde edilen bu sinyal daha sonra PI denetleyiciye giriş olarak verilmektedir. Bu arada üstel fonksiyon karakteristiği sabit olmayıp, iki skaler sabite ile değiştirilebilmektedir. Bu manada fonksiyonun eğimi/keskinliği ile maksimum/minimum değerleri kullanıcı tarafından ayarlanabilmektedir.

Bu çalışmada termik güç santrali ve fotovoltaik güneş enerji sisteminden oluşan iki bölgeli bir güç sisteminde SFR performansının artırılması için üstel PI denetleyicisi tasarlanmış ve önerilmiştir. Denetleyici parametrelerinin etkili biçimde elde edilmesinde yeni bir algoritma olan yılan arama algoritması (YAA) kullanılmıştır. Bu manada denetleyici tasarım aşamasında insan faktörü ortadan kalkmış, yanlış parametre ayarından dolayı istenmeyen performans ile karşı karşıya kalma riski de önlenmiştir. Benzetimi gerçekleştirilen güç sistemi MATLAB/Simulink ortamında modellenmiş, optimizasyon algoritması ise MATLAB/M-file ortamında yazılmıştır. YAA’da bireylerin uygunluğunu değerlendirmek için Simulink modeli ile M-file birbirlerine bağlanmışlardır. YAA tabanlı üstel PI denetleyici performansının ispatı için literatürdeki [7] ve [16] numaralı kaynaklarla karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırmalarda frekans sapması ve bağlantı hattı güç dalgalanmalarına ait cevap eğrileri analiz edilmiştir.

2. GÜÇ SİSTEMİ TRANSFER FONKSİYONU MODELİ

Bu bölümde iki bölgeli termik santral ve PV güneş enerji sisteminden oluşan güç sisteminin benzetim çalışmalarında kullanılan dinamik modeli verilmiştir. Şekil 1’te bu modelin SFR tasarımı ve analizi için oluşturulan transfer fonksiyonu modeli görülmektedir. Bu sistem iki farklı santralin birbirlerine enterkonnekte bağlantı hattı ile bağlanmasıyla oluşur. 1. bölgede ara ısıtmalı buhar türbinine sahip termik santral görev yaparken 2. bölgede PV güneş enerji sistemi bulunmaktadır. Şekil 1’de R generatörün güç-frekans karakteristik eğrisinden elde edilen governör regülasyon faktörü, B frekans biasıdır. Ayrıca ΔP_{D1} ve ΔP_{D2} yük değişimlerini, ΔP_{g1} ve ΔP_{g2} güç üretimindeki değişimleri, Δf_1 ve Δf_2 bölge frekans sapmalarını, ΔP_{tie} komşu bölgeler arasındaki bağlantı hattı güç dalgalanmalarını, ΔP_{ref1} ve ΔP_{ref2} denetleyici çıkış sinyallerindeki değişimi ve AKH alan kontrol hatasını göstermektedir.



Şekil 1. Çalışmadaki güç sistemi transfer fonksiyonu modeli.

Bu güç sisteminde AKH şu şekilde hesaplanır;

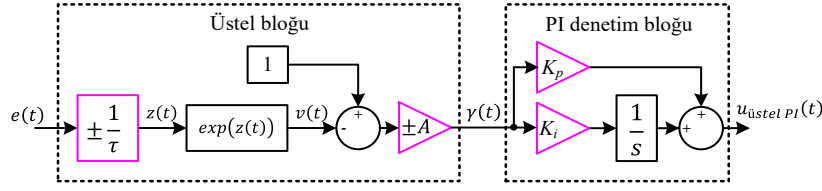
$$AKH = -B\Delta f_1 + \Delta P_{tie} \quad (1)$$

SFR ile bölgeler arasındaki güç akışını kontrol edilir ve sistemde var olan kalıcı frekans hatası giderilerek sistem frekansı belirlenen nominal değerine getirilir. Bağlantı hatlarındaki aktif güç akışı yük tevzi merkezlerinde bilgisayar destekli denetleyiciler vasıtasıyla kontrol edilir. Bu denetleyiciler bağlantı hattında var olan AKH değerini kontrol ederler.

Çalışmada kullanılan sistem parametreleri şu şekilde ayarlanmıştır [7]: $T_{ps} = 20$ s, $K_{ps} = 120$ Hz/puMW, $T_g = 0.08$ s, $T_t = 0.3$ s, $K_r = 0.33$, $T_r = 10$ s, $T_{12} = 0.545$ puMW/Hz, $B = 0.8$ puMW/Hz, $R = 0.4$ Hz/puMW, $F^0 = 60$ Hz

3. ÜSTEL PI DENETLEYİCİ YAPISI VE TASARIMI

Üstel PI denetim blok diyagramı Şekil 2’de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere üstel blok PI denetim bloğunun önüne konulmuş, birbirlerine eklemeli (kaskad bağlı) şekilde çalışmaktadırlar. Burada üstel blok değişken bir kazanç görevi görmektedir. Öyle ki bu kazanç, örn. k , hata sinyali $e(t)$ ’nin üstel fonksiyon ile tanımlı doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Bu durumda $k = 1$ iken üstel PI denetleyici klasik bir PI denetleyiciye dönüşür. $k \neq 1$ olduğunda $e(t)$ sinyali üstel fonksiyon ile doğrusal olmayan şekilde işlenerek $\gamma(t)$ sinyali hesaplanır. $\gamma(t)$ daha sonra PI denetim bloğuna girerek nihai çıkış sinyali $u_{üstel PI}(t)$ elde edilir.

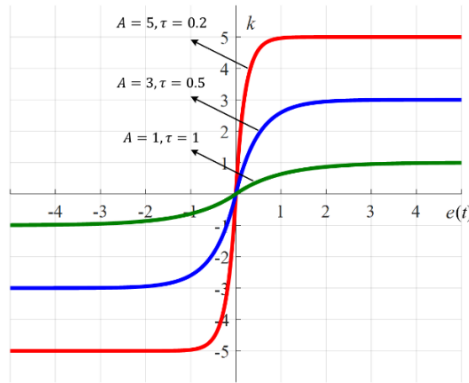


Şekil 2. Üstel PI denetim konsepti.

k kazancının matematiksel ifadesi Denklem 2’de verilmiştir.

$$k = \begin{cases} A(1 - \exp(-e(t)/\tau)) & e(t) > 0 \\ -A(1 - \exp(e(t)/\tau)) & e(t) \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

Denklem 1’den anlaşılacağı üzere üstel blokta iki bilinmeyen vardır. Bunlar üstel fonksiyonu karakterize eden τ ve A parametreleridir. Fonksiyonunun eğimini τ parametresi ile ayarlanırken A ile fonksiyonun sınırları belirlenmektedir. Olayın daha iyi anlaşılabilmesi için k değeri $e(t)$ ’nin bir fonksiyonu olarak Şekil 3’te çizdirilmiştir. Görüldüğü gibi A bir çarpan görevi görür ve $e(t)$ giriş hata sinyalini büyütüp küçültür. τ ise fonksiyonun eğimini ayarlamaktan sorumludur. Değeri küçüldükçe eğim büyür.



Şekil 3. Farklı τ ve A parametre değerlerinde k kazancının $e(t)$ ’nin bir fonksiyonu olarak üstel şekilde değişimi.

Sonuç olarak üstel PI denetim kuralı Denklem 3’de gibi verilebilir.

$$u_{\text{üstel PI}}(t) = K_p \gamma(t) + K_i \int \gamma(t) dt \quad (3)$$

Denklem 3’te $\gamma(t) = k \cdot e(t)$ ’dir. Üstel PI denetleyicinin tasarımında K_p ve K_i parametrelerine ek olarak τ ile A parametrelerinin en uygun şekilde belirlenmesi gerekir. Aksi halde denetleyiciden beklenen performans elde edilemez. Bu iş için uygulanabilecek en etkili yöntem meta-sezgisel bir algoritma ile denetleyici parametrelerinin optimizasyonudur. Seçilen algoritma ile önceden tanımlı hata tabanlı amaç fonksiyonu değeri küçültülerek en iyi denetleyici parametreleri tespit edilir. Güçlü yapısı ve yeni bir yöntem olması hasebiyle bu çalışmada yılan arama algoritması (YAA) tercih edilmiştir.

4. YILAN ARAMA ALGORİTMASI

Yılan arama algoritması optimizasyon problemlerine çözüm üretmek için alternatif olarak geliştirilen bir algoritmadır [18]. Algoritma 2022 yılında ortaya konmuştur. İlham kaynağı yılanların yiyecek arama ve özel çiftleşme mekanizmalarından gelir. Yılanların çiftleşmesi belirli şartlar altında gerçekleşir. En doğru zaman sıcaklığın yeterince düşük olduğu baharın sonu ve yazın başlangıcıdır. Sıcaklıktan başka yiyeceğin varlığı da çiftleşmeyi etkilemektedir. Şartlar sağlandığında rakip erkekler güçlü olmak ve dişiyi etkilemek için karşı karşıya gelirler. Dişi çiftleşmeye karar verirse çiftleşme meydana gelir ve dişi yılan yumurtalarını bir yuvanın içine bırakır. Yumurta dışarı çıktığı vakit dişi yuvadan ayrılır. Yılanların karşı karşıya gelmesi, çiftleşmesi ve yumurta bırakması Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Doğadaki yılanlar (a) kavgaları (b) çiftleşmeleri (c) yumurta bırakma.

Yılanların tespit edilen bu içgüdüleri matematiksel olarak aşağıda verilmiştir.

4.1. Popülasyonun Oluşturulması

YAA arama işlemine rastgele popülasyonla başlar. Popülasyon Denklem 4 ile rastgele üretilir.

$$S_i = S_{min} + rand \cdot (S_{max} - S_{min}) \quad (4)$$

Burada S_i i . yılanın pozisyonu, $rand$ 0-1 arasında rastgele sayı üretici, S_{min} ve S_{max} problemdeki karar değişkenlerinin alt ve üst sınırlarını gösterir.

4.2. Popülasyonun İki Eşit Gruba Ayrılması: Erkekler ve Dişiler

Algoritmada popülasyonun eşit olarak iki gruba ayrıldığı kabul edilir. Erkek yılanlarla dişi yılanlardan oluşan iki grup matematiksel olarak şu şekilde elde edilir.

$$N_m \approx N/2 \quad (5)$$

$$N_f = N - N_m \quad (6)$$

Burada N toplam yılanlardan oluşan çözüm sayısını, N_m ile N_f sırasıyla erkekler ve dişilerin sayısını vermektedir.

4.3. Grupların Değerlendirilmesi

Her gruptaki en iyi birey değerlendirilir ve uygunluk değerleri erkek birey için $f_{best,m}$, dişi birey için de $f_{best,f}$ değişkenlerinde saklanır. Yiyecek için f_{food} değişkeni kullanılacaktır.

Daha önce ifade edildiği gibi yılanların bir araya gelmesi ve çiftleşmesi için sıcaklık ve yiyecek miktarı gibi çiftleşmeyi etkileyen bazı faktörler bulunmaktadır. İterasyon sayısı t , maksimum iterasyon sayısı T olmak üzere algoritmada sıcaklık aşağıdaki formül kullanılarak üstel şekilde düşürülür.

$$Temp = \exp\left(\frac{-t}{T}\right) \quad (7)$$

Yiyecek miktarı ise her iterasyonda Denklem 8 ile hesaplanır:

$$Q = c_1 \cdot \exp\left(\frac{t-T}{T}\right) \quad (8)$$

Burada $c_1 = 0.5$ 'dir.

4.4. Keşif Fazı

Bu faz yiyeceğin olmadığı fazdır. Eğer Q belli bir eşik değerin (örneğin 0.25) altındaysa algoritma çözüm uzayını keşfeder. Bu süreçte yılanlar yiyeceğin kaynağını ararlar. Bunun için popülasyondan rastgele bireyler seçilir ve bu bireylere göre yeni pozisyonlar Denklem 9 kullanılarak hesaplanır.

$$S_{i,m}(t+1) = S_{rand,m}(t) \pm c_2 \cdot A_m \cdot (S_{min} + rand \cdot (S_{max} - S_{min})) \quad (9)$$

Burada $S_{i,m}$ i . erkek bireyin pozisyonu, $S_{rand,m}$ seçilen rastgele erkek bireyin pozisyonu, $c_2 = 0.05$ ve A_m erkek bireyin yiyecek bulma yeteneğidir. A_m 'nin hesaplanması için Denklem 10 önerilmiştir.

$$A_m = \exp\left(\frac{-f_{rand,m}}{f_{i,m}}\right) \quad (10)$$

Denklem 10'da $f_{rand,m}$, $S_{rand,m}$ 'nin uygunluk değeri, $f_{i,m}$ ise $S_{i,m}$ 'nin uygunluk değeridir. Denklemler 9 ve 10 benzer şekilde dişi yılanların bulunduğu gruba da uygulanır.

4.5. Sömürü Fazı

Bu fazda yiyecek bulunur. Eğer Q belli bir eşik değeri aşıtıysa ve sıcaklığı gösteren $Temp$ değişkeni 0.6'yı aşıtıysa bu durumda yılanlar Denklem 11'deki gibi kendilerini yiyeceğe doğru hareket ettirirler.

$$S_{i,j}(t+1) = S_{food} \pm c_3 \cdot Temp \cdot rand \cdot (S_{food} - S_{i,j}(t)) \quad (11)$$

Denklem 11'de $S_{i,j}$ i . erkek ya da dişi yılanın j . boyuttaki konumu, S_{food} en iyi bireyin pozisyonu ve c_3 değeri 2 olarak ayarlanan bir sabittir.

Eğer $Temp$ değeri 0.6'nın altına düşerse bu durumda yılanlar ya karşı karşıya gelirler ya da çiftleşirler. Karşı karşıya geldikleri durumda Denklem 12 kullanılarak yılanlar pozisyon değiştirir.

$$S_{i,m}(t+1) = S_{i,m}(t) + c_3 \cdot FM \cdot rand \cdot (Q \cdot S_{best,f} - S_{i,m}(t)) \quad (12)$$

Denklem 12'de $S_{i,m}$ i. erkeğin pozisyonu, $S_{best,f}$ dişi gruptaki en iyi pozisyon ve FM erkek bireyin mücadele kabiliyetidir. Benzer bir karşı karşıya geliş aynı şekilde dişi yılanlar arasında da gerçekleştiği düşünülmüş ve algoritmada Denklem 13 ile verilmiştir.

$$S_{i,f}(t+1) = S_{i,f}(t) + c_3 \cdot FF \cdot rand \cdot (Q \cdot S_{best,m} - S_{i,f}(t)) \quad (13)$$

Burada $S_{i,f}$ i. dişinin pozisyonu, $S_{best,m}$ erkek gruptaki en iyi pozisyon ve FF dişi bireyin mücadele kabiliyetidir. FM ile FF Denklemler 14 ve 15 ile hesaplanır.

$$FM = \exp\left(\frac{-f_{best,f}}{f_i}\right) \quad (14)$$

$$FF = \exp\left(\frac{-f_{best,m}}{f_i}\right) \quad (15)$$

Burada $f_{best,f}$ ile $f_{best,m}$ sırasıyla $S_{best,f}$ ve $S_{best,m}$ bireylerinin uygunluk değerleridir. Yılanların çiftleştiği durumda ise aşağıdaki denklemler ile bireyler pozisyonlarını güncellerler.

$$S_{i,m}(t+1) = S_{i,m}(t) + c_3 \cdot M_m \cdot rand \cdot (Q \cdot S_{i,f}(t) - S_{i,m}(t)) \quad (16)$$

$$S_{i,f}(t+1) = S_{i,f}(t) + c_3 \cdot M_f \cdot rand \cdot (Q \cdot S_{i,m}(t) - S_{i,f}(t)) \quad (17)$$

Burada $S_{i,m}$ erkeğin pozisyonunu, $S_{i,f}$ dişinin pozisyonunu, M_m ve M_f ise erkek ve dişinin çiftleşme kabiliyetlerini göstermektedir. Bu parametreler şu şekilde hesaplanır:

$$M_m = \exp\left(\frac{-f_{i,f}}{f_{i,m}}\right) \quad (18)$$

$$M_f = \exp\left(\frac{-f_{i,m}}{f_{i,f}}\right) \quad (19)$$

Eğer yumurta çıkarsa, bu durumda en kötü erkek ile en kötü dişi bireyin pozisyonu Denklemler 20 ve 21 ile hesaplanır.

$$S_{worst,m} = S_{min} + rand \cdot (S_{max} - S_{min}) \quad (20)$$

$$S_{worst,f} = S_{min} + rand \cdot (S_{max} - S_{min}) \quad (21)$$

Burada $S_{worst,m}$ ve $S_{worst,f}$ erkek gruptaki ve dişi gruptaki en kötü bireylerdir. Algoritmanın sözde kod tasarımı Algoritma 1'de gösterilmiştir.

Algoritma 1. YAA sözde kodu

```

1  Yılanlardan meydana gelen popülasyonu kısıtlar dahilinde rastgele oluştur, S
2  Popülasyonu iki eşit parçaya böl
3  while t < T
4    Her bir grubun ( $N_m$  and  $N_f$ ) uygunluk değerlerini hesapla
5     $f_{best,m} \leftarrow$  en iyi erkek çözüm
6     $f_{best,f} \leftarrow$  en iyi dişi çözüm
7    Temp ve Q değişkenlerini Denklemler 7 ve 8 ile güncelle
8    if Q < 0.25  % keşif fazı
9      Denklem 9 ile keşif gerçekleştir
10   else  % sömürü fazı
11     if Temp > 0.6
12       Bireyleri Denklem 11'i kullanarak güncelle
13     else
14       if rand > 0.6
15         Yılanların karşı karşıya geldiği mod: Denklem 12 ve Denklem 13'ü kullan
16       else
17         Yılanların çiftleştiği mod: Denklem 16 ve Denklem 17'i kullan
18         En kötü erkek ve dişinin pozisyonlarını Denklemler 20 ve 21 ile değiştir
19       endif
20     endif
21   endif
22 endwhile
23 En iyi çözümü görüntüle

```

Şekil 2'de gösterilen önerilen denetleyici yapısında K_p , K_i , τ ve A olmak üzere toplamda dört parametre vardır. Denetleyiciden maksimum performans elde edebilmek için bu parametrelerin en iyi şekilde ayarlanması gerekir.

Bu çalışmada bu parametreler deneme ve yanılma yoluyla değil, YAA ile optimal şekilde ayarlanmaya çalışılmıştır.

Optimizasyon işlemlerinde probleme özgü çalışan tek kısım amaç fonksiyonudur ve bu fonksiyonun tanımı elde edilen sonuçların amaca uygunluğunu önemli derece etkiler. Kontrol sistemlerinde dört tür amaç fonksiyonu kullanılmaktadır. Bunlar IAE, ISE, ITSE ve ITAE performans kriterleridir. Bu fonksiyonlar matematiksel olarak Denklem 22, Denklem 23, Denklem 24 ve Denklem 25’de tanımlanmışlardır. Bu Denklemlerde; t zamanı, T benzetim süresini, Δf_1 ve Δf_2 frekans değişimlerini ve ΔP_{tie} iki bölgeyi birbirine bağlayan iletim hattındaki güç değişimini göstermektedir. SFR çalışmalarında ITAE’nin diğer integral tabanlı hata kriterlerine göre daha iyi sonuçlar ürettiği görülmüştür [19].

$$IAE = \int_0^T (|\Delta f_1| + |\Delta f_2| + |\Delta P_{tie}|). dt \quad (22)$$

$$ISE = \int_0^T [(\Delta f_1)^2 + (\Delta f_2)^2 + (\Delta P_{tie})^2]. dt \quad (23)$$

$$ITSE = \int_0^T [(\Delta f_1)^2 + (\Delta f_2)^2 + (\Delta P_{tie})^2]. t. dt \quad (24)$$

$$ITAE = \int_0^T (|\Delta f_1| + |\Delta f_2| + |\Delta P_{tie}|). t. dt \quad (25)$$

Yürütülen algoritmada ITAE değerinin minimizasyonu ile salınım/sapma miktarı küçük, 0 pu referans değere en az oturma zamanı ile çabucak yerleşen cevap eğrilerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak üstel PI denetleyici tasarımı problemleri kısıtlı optimizasyon problemleri olarak modellenerek çözülmeye çalışılmıştır. Optimizasyon problemindeki kısıtlar denetleyici parametrelerinin minimum ve maksimum sınırlarıdır. Optimizasyon problemi basitçe Denklem 26’daki gibi tanımlanabilir.

Aşağıdaki eşitsizlik kısıtlarını dikkate alarak ITAE değerini minimum yap

Eşitsizlik kısıtları:

$$\left. \begin{array}{l} K_p^{min} \leq K_p^* \leq K_p^{max} \\ K_i^{min} \leq K_i^* \leq K_i^{max} \\ \tau^{min} \leq \tau^* \leq \tau^{max} \\ A^{min} \leq A^* \leq A^{max} \end{array} \right\} \quad (26)$$

Denklem 26’da *min* ve *max* üst indisleri denetleyici parametrelerinin sırasıyla minimum ve maksimum sınırlarını göstermektedirler. Bu çalışmada K_p ve K_i parametreleri literatür çalışmalarına uyumlu olarak -2 ve 2 aralığında aranmıştır. τ ve A parametrelerinin alt ve üst sınırları ise 0 ve 2 olarak belirlenmiştir. Optimizasyon sonrasında en küçük ITAE değerini veren K_p^* , K_i^* , τ^* ve A^* değerleri denetleyici parametrelerinin en uygun değerleri olarak düşünülmüş ve benzetim çalışmalarında kullanılmışlardır.

5. BENZETİM SONUÇLARI

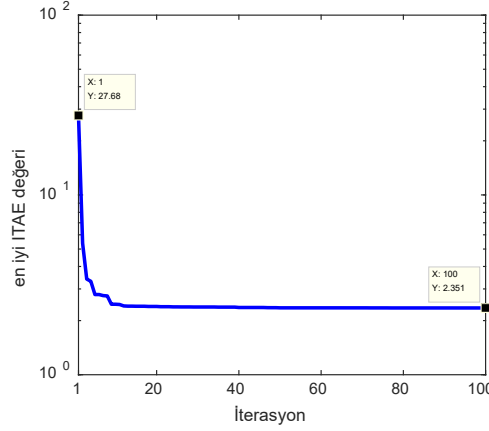
Transfer fonksiyonu Şekil 1’de gösterilen sistemde iki bölge farklı üretim tesislerine sahip olduğu için bu bölgelerde kullanılan denetleyicilerin de farklı parametrelere sahip olmaları gerekir. Bu manada toplam 8 parametrenin belli koşullar altında en iyi değerleri bulunacaktır. 1. bölgede basamak yük değişiminin %10 ($\Delta P_{D1}=0.1$ pu), diğer bölgede yük değişiminin sıfır olduğu ($\Delta P_{D2}=0$ pu) kabul edilerek YAA ile elde edilen üstel PI denetleyici parametreleri Tablo 1’de verilmiştir. Bu parametreler kullanılarak Δf_1 , Δf_2 ve ΔP_{tie} sinyallerine ait hesaplanan ITAE değeri de bu tablonun en alt satırında gösterilmiştir. Elde edilen sonuçların literatüre katkısını göstermek için daha önce yayımlanmış çalışmalardan elde edilen sonuçlar da Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Denetleyici parametreleri ve ITAE değerleri

Denetleyici parametreleri	GA-PI [7]	ABA-PI [7]	AOA-PI [16]	YAA-üstel PI [önerilen]
K_{p1}	0.5663	0.8811	0.7395	0.2609
K_{i1}	0.4024	0.5765	0.4080	0.2333
K_{p2}	0.5127	0.7626	1.8960	1.9252
K_{i2}	0.7256	0.8307	0.9796	0.2404
τ_1	-	-	-	1.6027
A_1	-	-	-	1.7034
τ_2	-	-	-	1.2630
A_2	-	-	-	1.9780
ITAE	12.44	7.4259	3.9028	2.3511

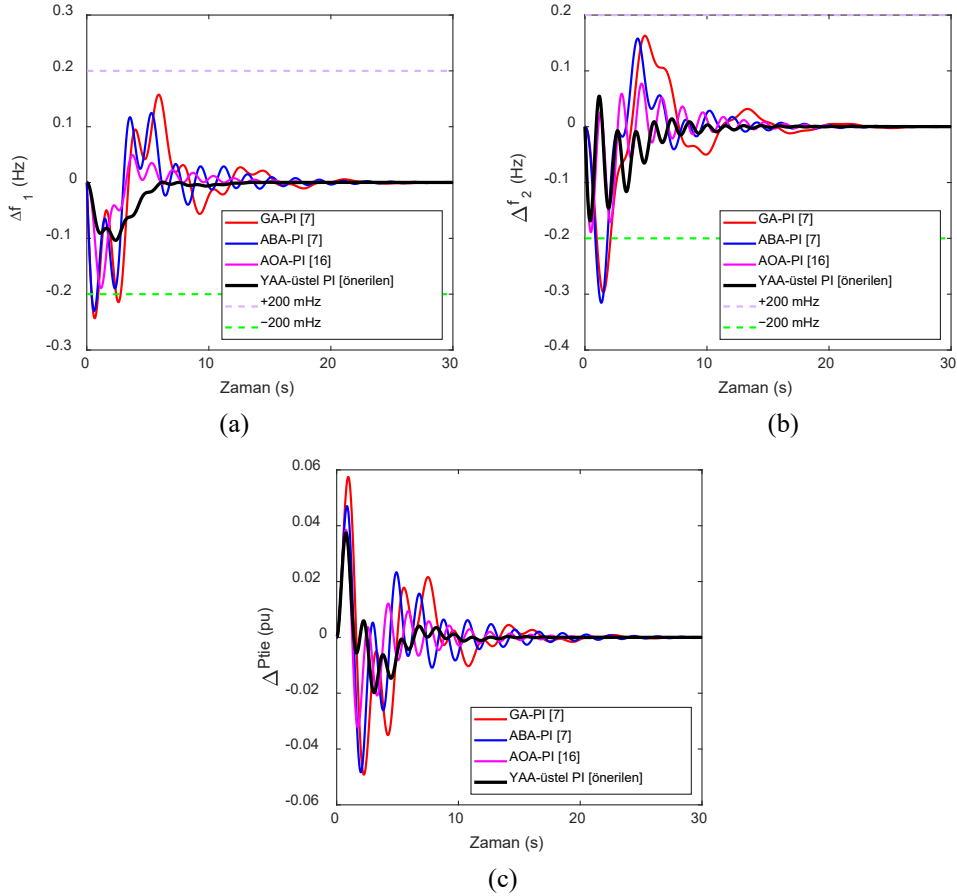
Tablo 1’de verilen ITAE değerleri incelendiğinde YAA-üstel PI denetleyicinin diğer yaklaşımlara göre daha düşük ITAE değeri sunduğu görülür ($ITAE = 2.3511$). Bu sonuç cevap eğrilerinin iyileştiği anlamına gelir. Önerilen yaklaşımdan sonra en iyi ikinci denetleyicinin AOA-PI denetleyicisi olduğu söylenebilir. ITAE kriteri bakımından en kötü sonuç GA-PI yönteminde hesaplanmıştır ($ITAE = 12.1224$).

Algoritmada popülasyon boyutu 30 ve maksimum iterasyon sayısı 100 olarak ayarlandığında elde edilen yakınsama grafiği Şekil 4’de verilmiştir. İlk iterasyon başlangıç popülasyonunu göstermektedir. Görüldüğü gibi en iyi ITAE değeri 27.68’den başlayarak 100 iterasyon sonunda 2.351 değerine kadar düşmüştür. ITAE değeri ne kadar düşerse Δf_1 , Δf_2 ve ΔP_{tie} tepkilerindeki salınım o derece azalmış olur. Buradan YAA’nın bu çalışmadaki probleme iyi bir yanıt ürettiği sonucu çıkarılabilir.



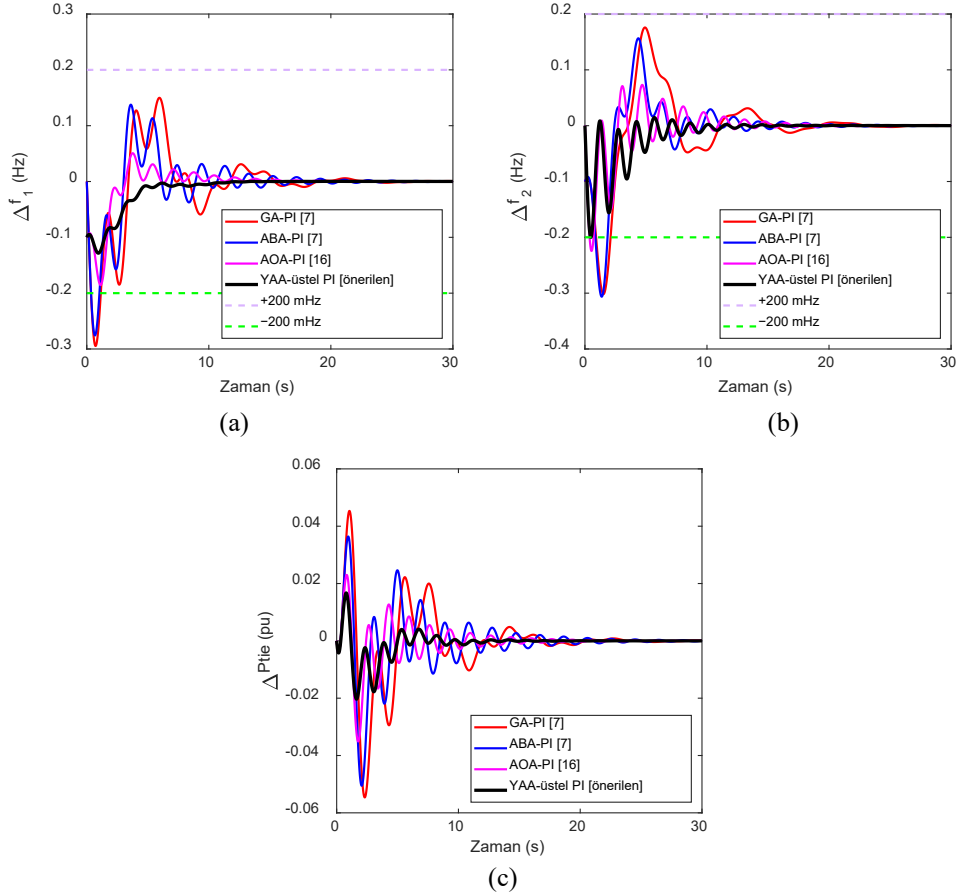
Şekil 4. Optimizasyon sürecinde YAA'nın yakınsama grafiği.

Tablo 1’de verilen denetleyici parametreleri kullanılarak benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiş ve elde edilen Δf_1 , Δf_2 ve ΔP_{tie} tepkileri [0, 30]s için Şekil 5’de verilmiştir. Şekilden açıkça anlaşılacağı üzere 1. bölgede 0.1 pu’lık yük değişimiyle önerilen yaklaşımda frekans eğrileri negatif yönde sapma göstermiş, akabinde hızlıca toparlanarak referans değere oturmuşlardır. Başka bir deyişle; artan yük miktarına karşı önce frekans düşmüş, sonrasında enerji üretim tesisleri çıkışlarındaki aktif gücü SFR ünitesinden gelen sinyallerle artırarak frekans değerini nominal değere geri getirmişlerdir. YAA-üstel PI denetleyici ile elde edilen tepkiler incelendiğinde diğerlerine göre daha hızlı toparlandıkları, daha az bir aşım ve osilasyon ile referans 0 pu değere çabucak yerleştikleri görülmüştür.



Şekil 5. 1. bölgede 0.1 pu’lık basamak yük değişimi sonrası elde edilen cevap eğrilerinin karşılaştırılması (a) Δf_1 (b) Δf_2 (c) ΔP_{tie} .

İkinci durumda iki bölgede %10'luk ($\Delta P_{D1}=\Delta P_{D2}=0.1$ pu) bir yük artışı sağlanmış ve elde edilen cevap eğrileri Şekil 6'da verilmiştir. İlk senaryodaki duruma benzer olarak YAA-üstel PI denetleyici daha iyi performans sergilemiş, bu manada Δf_1 , Δf_2 ve ΔP_{tie} sinyalleri daha az osilasyonla çabucak referans 0 pu değere oturmuşlardır.



Şekil 6. 1. bölgede ve 2. bölgede 0.1 pu'lık basamak yük değişimi sonrası elde edilen cevap eğrilerinin karşılaştırılması (a) Δf_1 (b) Δf_2 (c) ΔP_{tie} .

Şekiller 5 ve 6 dikkatli şekilde incelendiğinde literatür çalışmalarının Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliğinde belirtilen ± 200 mHz'lik toleransı ihlal ettikleri, önerilen YAA tabanlı üstel PI denetleyicisinde ise sapmaların ve değişimlerin istenen aralıkta tutulduğu görülmüştür.

6. SONUÇ

Güç sistemlerinde yükler sürekli devreye girip çıkarak frekansta ciddi değişimlere neden olur. Frekans regülasyon problemi olabildiğince hızlı çözülmelidir, aksi takdirde güç sisteminin güvenliği, güvenilirliği ve üretilen gücün kalitesi düşer. Bu ise SFR için tasarlanan denetleyiciye ve denetleyici parametrelerin en iyi şekilde belirlenmesiyle mümkündür. Parametre belirleme işlemi çalışmada optimizasyon problemi olarak düşünülmüş ve ITAE amaç fonksiyonu kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır.

Çalışmada SFR tesisi için üstel PI denetleyicisi tasarlanmıştır. Denetleyici parametreleri deneme ve yanılma yöntemine başvurmadan YAA yaklaşımı ile elde edilmiştir. Ortaya konulan yöntemin performansı iki bölgeden meydana gelen termik ve fotovoltaik güç sistemi üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde yayımlanan sonuçlarla aynı şartlarda karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın diğer yöntemlere kıyasla sistem tepkilerinden hesaplanan oturma zamanı/maksimum pozitif/negatif aşım ve ITAE değerleri gibi zaman alanı performans kriterleri açısından daha iyi sonuçlar sunduğu görülmüştür. Önerilen yaklaşımla elde edilen eğriler ± 200 mHz'lik toleransı aşmadan hızlı toparlanarak arzu edilen kararlı durum değerine çabucak oturmuşlardır.

Yazar Katkıları

Bu eserin ortaya çıkmasındaki bütün işlemler yazar tarafından gerçekleştirilmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

KAYNAKÇA

- [1] P.P. Kumar, A. Kumar Yadav, A. Shastri, and P.A. Alvi, "BWOA assisted PIDF-(1+I) controller for intelligent load frequency management of standalone micro-grid", *ISA Transactions* vol. 132, pp. 387–401, 2023.
- [2] E. Yalçın, E. Çam, T. Vardar, and M. Lüy, "PID kontrolör ile iki bölgeli güç sistemlerinde yük frekans kontrolünün incelenmesi", *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, vol. 5, no. 2, pp. 7–11, 2013.
- [3] K.S.S. Ramakrishna, and T.S.Bhatti, "Sampled-data automatic load frequency control of a single area power system with multi-source power generation", *Electrical Power Components and Systems*, vol. 35 no. 8, pp. 955–980, 2007.
- [4] E. Çelik, "Performance analysis of SSA optimized fuzzy 1PD-PI controller on AGC of renewable energy assisted thermal and hydro-thermal power systems", vol. 13, pp. 4103–4122, 2022.
- [5] S. Panda, B. Mohanty, and P.K. Hota, "Hybrid BFOA-PSO algorithm for automatic generation control of linear and nonlinear interconnected power systems", *Applied Soft Computing*, vol. 13, no. 12, pp. 4718–4730, 2013.
- [6] U.K. Rout, R.K. Sahu, and S.Panda, "Design and analysis of differential evolution algorithm based automatic generation control for interconnected power system", *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 4, no. 3, pp. 409–421, 2013.
- [7] S.M. Abd-Elazim, and E.S. Ali, "Load frequency controller design of a two-area system composing of PV grid and thermal generator via firefly algorithm", *Neural Computing and Applications*, vol. 30, pp. 607–616, 2018.
- [8] S. Padhy, and S. Panda, "A hybrid stochastic fractal search and pattern search technique based cascade PI-PD controller for automatic generation control of multi-source power systems in presence of plug in electric vehicles", *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 12–25, 2017.
- [9] Z.Y. Yenen, G. Bal, E. Çelik, N. Öztürk, U. Güvenç, and Y. Arya, "Yük frekans kontrolünde kullanılan ikincil denetleyicilerin optimizasyonuna yönelik yeni bir hedef fonksiyonu tasarımı", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 36, no.4, pp. 2053–2067, 2021.
- [10] B. Mohanty, S. Panda, and P.K. Hota, "Controller parameters tuning of differential evolution algorithm and its application to load frequency control of multi-source power system", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 54, no.1, pp. 77–85, 2014.
- [11] E. Çelik, "Improved stochastic fractal search algorithm and modified cost function for automatic generation control of interconnected electric power systems", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 88, pp. 103407, 2020.
- [12] Sahu R.K., Panda S., Rout U.K., Sahoo D.K., Teaching learning based optimization algorithm for automatic generation control of power system using 2-DOF PID controller, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 77 (5), 287–301, 2016.
- [13] A.K. Barisal, "Comparative performance analysis of teaching learning based optimization for automatic load frequency control of multi-source power systems", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 66, no.3, pp. 67–77, 2015.
- [14] R.K Sahu, S. Panda, and G.T.C. Sekhar, "A novel hybrid PSO-PS optimized fuzzy PI controller for AGC in multi area interconnected power systems", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol.64, no.1, pp. 880–893, 2015.
- [15] S. Padhy, S. Panda, and S. Mahapatra, "A modified GWO technique based cascade PI-PD controller for AGC of power systems in presence of Plug in Electric Vehicles", *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 20, no. 2, pp. 427–442, 2017.
- [16] E. Çelik, and A. Dalcalı, Performance betterment of load frequency regulation using snake search algorithm for an interconected power system incorporating thermal plant and pv power station, 5th International Antalya Scientific Research and Innovative Studies Congress, 26-28 July 2023, pp. 610–621, Antalya, Türkiye.
- [17] E. Çelik, G. Bal, N. Öztürk, E. Bekiroglu, E.H. Houssein, C. Ocak, and G. Sharma, "Improving speed control characteristics of PMDC motor drives using nonlinear PI control", *Neural Computing and Applications*, <https://doi.org/10.1007/s00521-024-09568-3>.
- [18] F.A. Hashim, and A.G. Hussien, "Snake Optimizer: A novel meta-heuristic optimization algorithm", *Knowledge-Based Systems* vol. 242, pp. 108320, 2022.
- [19] E. Çelik, N. Öztürk, Y. Arya, and C. Ocak, "(1+PD)-PID cascade controller design for performance betterment of load frequency control in diverse electric power systems", *Neural Computing and Applications*, vol.33, pp. 15433–15456, 2021.