

HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
AKADEMİK BİLİM DERGİSİ

HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY
JOURNAL OF ENGINEERING

Cilt:9

Sayı:3

Aralık 2024

e-ISSN: 2528-8733



Baş Editör

Prof. Dr. Kasım MERMERDAŞ, Harran Üniversitesi

Editörler

Prof. Dr. Kasım MERMERDAŞ, Harran Üniversitesi

Prof. Dr. Veysel GÜMÜŞ, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Fatih TÜYSÜZ, Northumbria University, UK

Doç. Dr. Oğuz ŞİMŞEK, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Abdülkadir GÜMÜŞÇÜ, Harran Üniversitesi

Mizanpaj Editörü

Arş. Gör. Latif Doğan DİNSEVER, Harran Üniversitesi

Dil Editörü

Öğr. Gör. Umut KURAN, Harran Üniversitesi

Alan Editörleri

Prof.Dr. Bülent YEŞİLATA, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Prof.Dr. Ahmet ALTUNCU, Dumlupınar Üniversitesi

Prof. Dr. Halit YAZICI, Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. Kasım YENİGÜN, Kastamonu Üniversitesi

Prof. Dr. Nermin ŞARLAK, Konya Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ramazan KARAKUZU, Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. Yeliz PEKBAY, Ege Üniversitesi

Prof. Dr. Yusuf ARMAN, Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. A. Alper ÖNER, Erciyes Üniversitesi

Prof. Dr. M. Sami AKÖZ, Çukurova Üniversitesi

Prof.Dr. Sinan UYANIK, Harran Üniversitesi

Prof. Dr. Kasım MERMERDAŞ, Harran Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa ÖZEN, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Ali YILDIRIM, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Deniz UÇAR, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Eyüp KARAOĞUL, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Fatih TÜYSÜZ, Northumbria University, UK

Doç. Dr. Oğuz ŞİMŞEK, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa ULUKAVAK, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Serkan KAYA, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Hakkı GÜLŞEN, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Emin TENKEKİ, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Süleyman İPEK, Bingöl Üniversitesi

Doç. Dr. Abdülkadir GÜMÜŞÇÜ, Harran Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Kerim KARADAĞ, Harran Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi N. Göksu SOYDAN OKSAL, Mersin Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Yunus EROĞLU, İskenderun Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Kemal GÜNER, Harran Üniversitesi

Alan Editörleri (Cilt 9, Sayı 3)

Prof. Dr. Kasım MERMERDAŞ, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Ali YILDIRIM, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Bülent HAZNEDAR, Gaziantep Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Emin TENKEKİ, Harran Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Kerim KARADAĞ, Harran Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Yunus EROĞLU, İskenderun Teknik Üniversitesi

İletişim:

Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Osmanbey Kampüsü Haliliye, Şanlıurfa

Telefon: +90 414 318 3476

e-mail: muhendislik@harran.edu.tr

web: <https://dergipark.org.tr/humder>

e-ISSN: 2528-8733

Yayın Aralığı: 4 ay

HAKEM LİSTESİ / Reviewers List

9.Cilt 3. sayımızda yayınlanan makaleleri değerli zamanlarını ayırarak değerlendiren kıymetli hocalarımıza teşekkür ederiz.

We greatly appreciate the contributions made by the scientists, who worked as reviewers for Harran University Journal of Engineering.

Selahattin KOŞUNALP
Fatih Ahmet ŞENEL
Murat İSKEFİYELİ
Nagehan İLHAN
İbrahim IŞIK
Akın ÖZDEMİR
Yasemin Şirin ERYOLDAŞ
Hasarı KARCI
Nurettin BEŞLİ
Adnan BOZDOĞAN
İbrahim HAYOĞLU
Ahmet Ferit ATASOY

Araştırma Makaleleri (Research Articles)

Balikesir Edremit Bölgesinde Şebekeden Bağımsız Hibrit Sistemle Bir Binanın Elektrik İhtiyacının Karşlanması Meeting The Electricity Needs of a Building with a Grid-Independent Hybrid System in Balikesir Edremit Region Eren Adıgüzel¹, Fikret Yüksel²	131
Proje Seçim Problemi İçin AHP ve TOPSIS Bütünleşik Yaklaşımı: Bir Proje Yönetim Firmasında Uygulama Ahp And Topsis Integrated Approach For The Project Selection Problem: Application In A Project Management Company Mehmet Pınarbaşı¹, Melike Gökçen Ünver², Feride Fatmanur Özcan³	147
Derin Öğrenme ve Chroma Spektrogramlarına Dayalı EKG Sinyallerinin Sınıflandırılması Classification of ECG Signals Based on Deep Learning and Chroma Spectrograms Songül Akdağ¹, Mehmet Bilal Er²	164
Kısa Mesafeli Kablosuz Haberleşmelerde Li-Fi Teknolojisi Kullanımı Implementation of Li-Fi Technology in Short-Range Wireless Communications Hamdi YILMAZ¹, Ayhan GÜLTEKİN²	176
Determining the Quality of Turkish Black Tea Infusion Produced by Rapid Solid-Liquid Dynamic Extraction Hızlı Katı-Sıvı Dinamik Ekstraksiyonla Üretilen Türk Siyah Çay Deminin Kalitesinin Belirlenmesi Kübra DOĞRU¹, Ahmet Levent İNANÇ²	187



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

Balıkesir Edremit Bölgesinde Şebekeden Bağımsız Hibrit Sistemle Bir Binanın Elektrik İhtiyacının Karşılanması

Meeting The Electricity Needs of a Building with a Grid-Independent Hybrid System in Balıkesir Edremit Region

Yazar(lar) (Author(s)): Fikret YÜKSEL¹, Eren ADIGÜZEL²

¹ ORCID ID: 0000-0002-8247-6760

² ORCID ID: 0000-0002-1995-3181

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Yüksel F., Adıgüzel E., “Balıkesir Edremit Bölgesinde Şebekeden Bağımsız Hibrit Sistemle Bir Binanın Elektrik İhtiyacının Karşılanması”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 9(3): 131-146, (2024).

DOI: 10.46578/humder.1489199



Balıkesir Edremit Bölgesinde Şebekeden Bağımsız Hibrit Sistemle Bir Binanın Elektrik İhtiyacının Karşılanması

Fikret YÜKSEL¹, Eren ADIGÜZEL^{2,*}

^{1,2} Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Bölümü, 77100, Merkez/YALOVA

Öz

Balıkesir'in Edremit İlçesi, Pınarbaşı (39°38.5'N, 26°56.7'E) lokasyonunda yer alan 10 haneli 40 kişilik bir binanın, şebekeden bağımsız (off-grid) şekilde elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla farklı hibrit enerji sistemleri araştırılmıştır. Hibrit sistemlerin teknik ve ekonomik analizleri HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) programı yardımıyla simüle edilerek değerlendirilmiştir. Hibrit sistemlerin 10 haneli binanın yaklaşık enerji tüketimi olan, günlük 80 kWh elektrik enerji değerini karşılayacak şekilde olması planlanmıştır. Farklı hibrit sistemlerinin değerlendirilmesi sonucunda en uygun sistemin PV/G10/1kWh/Li-Ion olacağı değerlendirilmiştir. Seçilen sistemin emisyon değerleri incelenerek, çevreye olan zararları diğerlerine göre daha düşük çıkmıştır. Sistemin ekonomikliği, enerji verimliliği ve çevre-insan sağlığı açısından diğer sistemlere göre üstünlüğü değerlendirilmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 24/05/2024

Yayın: 31/12/2024

Anahtar Kelimeler

Şebekeden bağımsız
Hibrit sistem
HOMER

Keywords

Off-grid
Hybrid system
HOMER

Meeting The Electricity Needs of a Building with a Grid-Independent Hybrid System in Balıkesir Edremit Region

Abstract

Different hybrid energy systems were investigated in order to meet the electricity needs of a 10-household building with 40 people capacity, located in Pınarbaşı (39°38.5'N, 26°56.7'E), Edremit District of Balıkesir, in an off-grid manner. Technical and economic analysis of hybrid systems were simulated and evaluated with the help of the HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) program. Hybrid systems are planned to meet the daily electrical energy value of 80 kWh, which is the approximate energy consumption of a 10-house building. As a result of the evaluation of different hybrid systems, it was evaluated that the most suitable system would be PV/G10/1kWh/Li-Ion. By examining the emission values of the selected system, its environmental damage was found to be lower than the others. The system's superiority over other systems in terms of economy, energy efficiency and environment-human health has been evaluated.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte, enerji talebi de aynı oranda yükselmektedir. İhtiyaç duyulan enerji, fosil yakıt ve yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanmaktadır. Fosil yakıtlara örnek olarak kömür, petrol ve doğalgaz verilebilir. Fosil yakıtlar, enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir rol oynamasına karşın, yüksek emisyon oranları nedeniyle çevreye ve insan sağlığına zarar vermeleri, iklim değişikliğine yol açmaları ve tükenbilir kaynak olmaları gibi dezavantajlara sahiptir. Sıralanan bu olumsuzluklar sebebiyle fosil yakıtlar yerini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş ve rüzgâr enerjisi başta olmak üzere hidroelektrik, gel-git, jeotermal, biyokütle ve hidrojen enerjisinden oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre dostu olması, sürdürülebilir (zamanla tükenmeyen) olması ve yerli kaynakların kullanılmasına imkân vermesi olumlu yönleridir [1]. Yenilenebilir kaynakların hibrit bir yapıda kullanılması etkinlik derecelerini artırmaktadır. Güneş panellerinden günün sadece belirli saatlerinde enerji dönüşümünün sağlanması, rüzgâr enerjisinin de günün her saatinde olmaması sebebiyle her iki sistemin birlikteliği ile oluşturulan hibrit sistemle enerji dönüşümde süreklilik artırılabilir [2]. Hibrit enerji sistemleri, enerji kaynaklarının birlikte kullanılmasıyla oluşturulan

*İletişim Yazarı, e-mail: ena1653@gmail.com

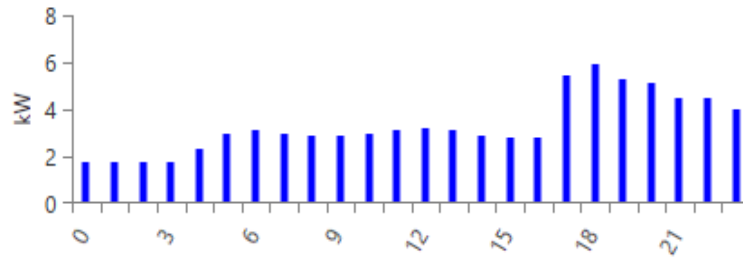
sistemlerdir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının artan önemi ile şebeke bağlantısının olmadığı bölgelerde enerji sağlamanın etkili bir çözümü olarak geliştirilmiştir [3]. Hibrit sistemde kullanılacak her bir bileşenin sistem bütünlüğüne etkisinin belirlenmesi amacıyla simülasyon programları kullanılabilir. Geline nokta da etkin simülasyon programlarının başında HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) yer almaktadır. Bir bilgisayar modellemesi olan HOMER, Birleşik Devletler Ulusal Yenilenebilir Enerji laboratuvarı (NREL) aracılığıyla biçimlendirilmiş bir küçük güç optimizasyon sistemidir. HOMER programı, mikro güç modellerinin simülasyonunu sağlamak ve güç üretim teknolojilerini karşılaştırmak amacıyla tasarlanmıştır. Bu program, güç modellerinin fiziksel özelliklerini ve yaşam ömürleri sürecindeki ücretleri olan toplam kurulum ve yönetim masraflarını tasarlar. Ayrıca teknik ve ekonomik verileri kullanarak çeşitli tasarım olanakları sunar. Ek olarak bu program, hibrit sistem modellenirken kullanılan verilerle yapılan farklılıkların ve belirsizliklerin ortaya çıkmasına da olanak sağlar [4]. Bu program, birden fazla kaynağın bir arada kullanımını sağlayarak belirlenen lokasyonda çeşitli sistem konfigürasyonları arasında en ideal sonucun belirlenmesine olanak tanır. Bu avantajlarından dolayı çalışmamızda kullanılacak program olarak HOMER tercih edilmiştir.

Çalışmada HOMER programı kullanılarak Balıkesir'in Edremit ilçesinde ($39^{\circ}38.5'N$, $26^{\circ}56.7'E$) belirlenen lokasyonda 10 haneli 40 kişilik ailenin elektrik enerjisi ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynakları olan, rüzgâr ve güneş enerjisinden oluşan hibrit bir sistemle karşılanması için gerekli olan konfigürasyon araştırılmıştır. Bu sistem konfigürasyonu; şebekeden bağımsız rüzgâr türbini, güneş paneli, jeneratör ve akü grubundan oluşan hibrit bir sistem olabileceği gibi onlarca farklı sistem grubu da olabilmektedir. Göz önüne alınan sistemde birden fazla farklı yapıların simülasyon sonuçları irdelenmiştir. Sistemler için gerekli olan güneş paneli, rüzgâr türbini, jeneratör ve akü maliyetleri araştırılarak maliyet değerlendirmeleri yapılmıştır.

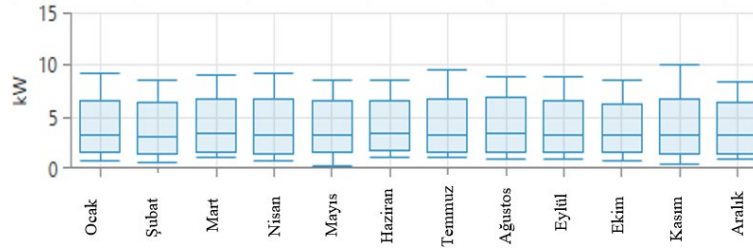
2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Yenilenebilir enerji kaynaklarının genel tanımından ardından, hibrit sistemin kurulumu için Ege Bölgesi'nde yer alan Balıkesir ili Edremit ilçesi ($39^{\circ}38.5'N$, $26^{\circ}56.7'E$) seçilmiştir. Çalışma kapsamında Edremit'teki güneş ve rüzgâr enerjisinin hibrit bir sistemde nasıl kullanılabileceği ve bu sistemin detayları incelenmektedir. Enlem ve boylamı verilen lokasyonda toplam 10 hanelik ve 40 kişilik binanın elektrik ihtiyacının karşılanması esas alınmıştır.

TEİAŞ verileri doğrultusunda dört nüfuslu bir ailenin günlük ortalama elektrik tüketiminin 8 kWh olacağı değerlendirilerek [5] 10 hanelik binanın günlük elektrik ihtiyacı 80 kWh alınmıştır. Buradan, yıllık enerji ihtiyacının 29200 kWh olduğu görülmektedir. Genel enerji tüketim değerlendirmeleri dikkate alınarak (günlük elektrik tüketimi 80 kWh) [5] oluşturulan ve HOMER programında ön tanımlı olan topluluk yük profil grafiği Şekil 1'de, aylık elektrik yükü değer grafiği günlük elektrik enerjisi tüketimi girilerek Şekil 2'de verilmiştir [6]. Şekil 2'de görüldüğü gibi tepe güç değeri kasım ayı içinde oluşmakta ve 10,01 kW olarak gerçekleşmektedir.



Şekil 1. Topluluk Yük Profil Grafiği [6]

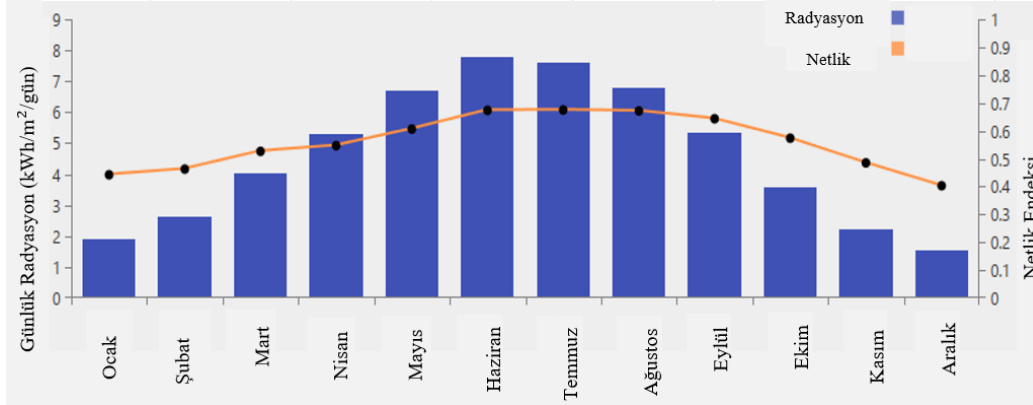


Şekil 2. Aylık Elektrik Yükü Değer Grafiği [6]

2.1. Güneş ve Rüzgâr Enerji Potansiyeli

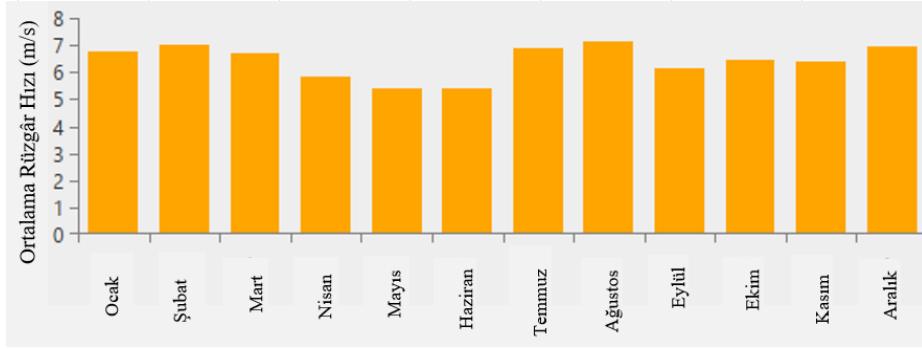
Güneş ve rüzgâr enerjisi, hibrit enerji sistemlerinin etkinliğini belirleyen kritik unsurlardır. Güneş enerjisi yeryüzünde ve atmosferdeki fiziksel süreçleri etkileyen bir kaynaktır. Dünya üzerindeki madde ve enerji akışları büyük ölçüde güneş enerjisine bağlıdır [7]. Güneş enerjisinin yenilenebilir olması, kullanım kolaylığı ve çevre dostu özellikleri, bu kaynağın önemini arttırmaktadır. Türkiye'nin coğrafi konumu sayesinde güneş enerjisi açısından yüksek bir potansiyele sahip olup, ortalama olarak günlük 7,5 saat güneş ışığı alırken, Almanya'ya kıyasla yüzde 60 daha fazla güneş ışımına maruz kalmaktadır [8]. Rüzgâr enerjisi ise rüzgârın kinetik enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan bir enerji türüdür ve dünya çapında bol miktarda bulunan, temiz, düşük maliyetli ve ticari olarak uygun enerji kaynaklarından biridir [9].

Hibrit sistem için güneş enerji verileri 1983-2005 yılları arasını kapsayan NASA veri tabanından alınmıştır [10]. Günlük güneşlenme süresi yaz aylarında daha yüksek olduğundan ilgili aylarda güneşten elde edilen enerji daha fazladır. Yapılan değerlendirmelerde seçilen lokasyonda güneşten gelen günlük ortalama radyasyon değerinin 4,62 kWh/m²gün olduğu belirlenmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi güneşten gelen yıllık radyasyon değerinin %40,06'sı yaz aylarında elde edilmektedir. Kış aylarında ise bu oran %10,98'e kadar düşmektedir.



Şekil 3. Aylık Ortalama Güneş Radyasyon Değeri

Güneş ve rüzgâr enerjisinden oluşan hibrit sistemlerde güneş enerjisinin yetersiz kaldığı durumlarda rüzgâr enerjisi tamamlayıcı güç kaynağı görevi yapar. Özellikle kış aylarında güneş enerjisinin enerji taleplerini karşılamada yetersiz kaldığı zamanlarda destekleyici güç kaynağı olarak rüzgâr enerji sistemi devreye girerek enerji talebini karşılar. İlgili bölge için rüzgâr enerji verileri de 1983-1993 yılları arasını kapsayan NASA veri tabanından alınmıştır [10]. Elde edilen verilerden; yıllık ortalama rüzgâr hızının 6,41 m/s olduğu, aylık ortalama rüzgâr hızı değerlerinin Şekil 4'te verildiği gibi gerçekleştiği bu sebeple de rüzgâr enerjisinin güneş enerjisine nazaran mevsimsel bir değişim sergilemediği görülmektedir.

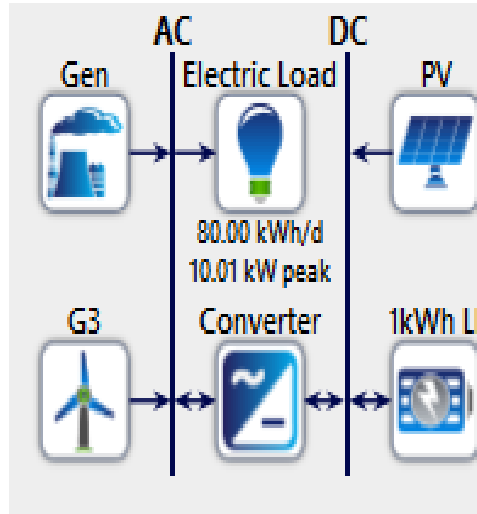


Şekil 4. Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı

Güneş ve rüzgâr enerji potansiyellerinin belirlenmesinin ardından, bu veriler HOMER simülasyonunda kullanılacak ve sistemin tüm bileşenleri detaylandırılacaktır.

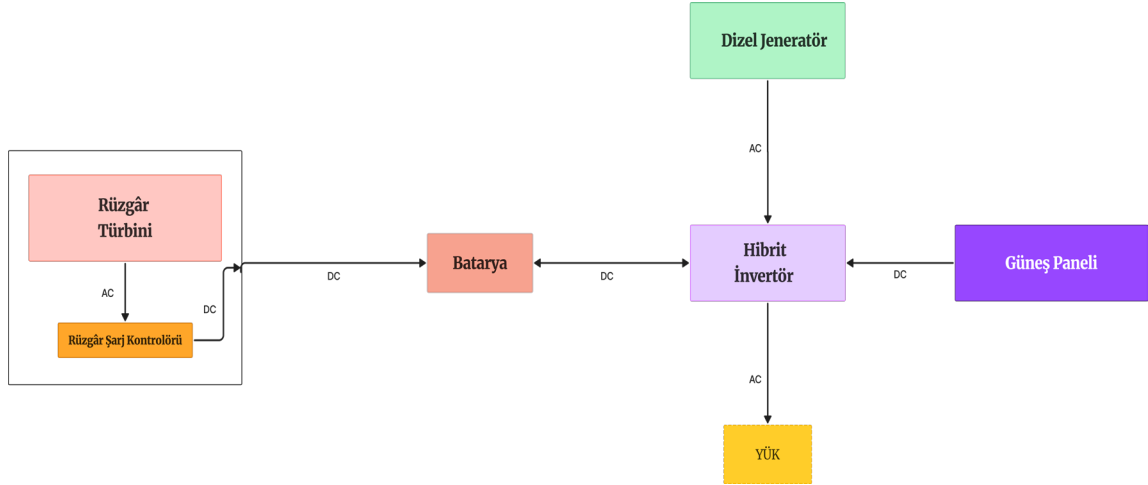
2.2. Sistemin Modellemesi ve Elemanları

Balıkesir ili Edremit ilçesinde belirlenen lokasyonda göz önüne alınan bina için hibrit sistem HOMER programı yardımıyla tasarlanmış ve simülasyon modelinin şeması Şekil 5'te verilmiştir. Hibrit sistemde jeneratör, güneş paneli, rüzgâr türbini, batarya, kazan ve termal yük olması durumu değerlendirilmiştir. HOMER programında oluşturulan sistemin günlük elektrik enerjisi ihtiyacı 80 kWh iken, elektrik enerjisinin belirli bir zaman diliminde en yüksek tükettiği güç değeri 10,01 kW olarak HOMER programı üzerinden hesaplanmıştır.



Şekil 5. Hibrit Sistem Modeli

Modellenen sistemde kullanılacak ekipmanların bağlantı şeması Şekil 6'da gösterilmiştir. Rüzgâr türbini çıkış gücü alternatif akım ile sağlanırken, güneş paneli çıkış gücü doğru akım ile sağlanmaktadır. Rüzgâr türbininde kullanılan şarj kontrol cihazı, rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik akımını, kontrollü olarak aküye iletir ve AC voltajı, belirli bir DC voltaj olarak regüle ederek, akımın ilgili yerlere iletilmesini sağlar. Güneş panellerinde akım ve gerilim her zaman sabit olarak üretilmez. Hibrit inverterin içerisinde bulunan MPPT cihazı, güneş panellerinden gelen akımı ve voltajı dengeleyerek akülerin fazla şarj veya yüksek voltajdan dolayı zarar görmesini engelleyen komponenttir ve temelinde bir DC-DC düzenleyicidir.



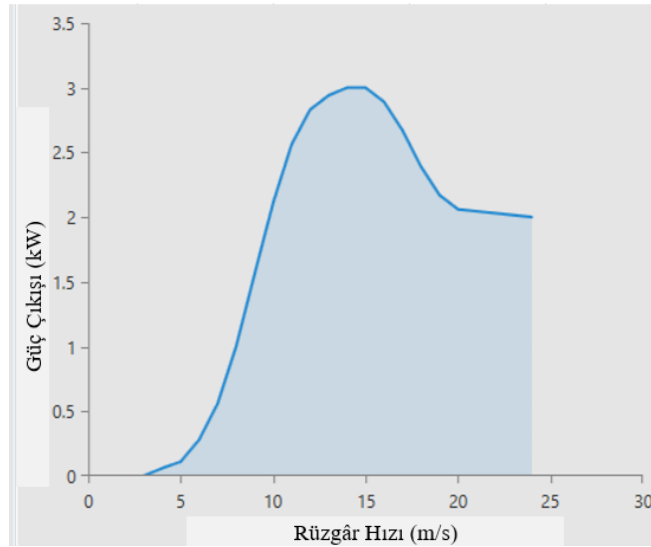
Şekil 6. Sistemde Modellenen Komponentlerin Bağlantı Şeması

2.2.1. Güneş Paneli

Bu sistemde kullanılan güneş paneli kurulum maliyeti 630 \$/kW [11] olarak kabul edilmiştir. Yıllık işletim ve bakım maliyeti 10 \$ [12], güneş panelinden sağlanan verimlilik %14 [13], panel yaşam ömrü 25 yıl olarak ele alınmıştır [14].

2.2.2. Rüzgâr Türbini

Bu çalışmada kW başına rüzgâr türbini kurulum maliyeti 2.500 \$ olacak şekilde kabul edilmiştir [15]. Çalışmada 3 kW'lık güce sahip rüzgâr türbini kurulmuş olup, kurulum maliyeti toplam 7.500 \$ olarak ele alınmıştır. Rüzgâr türbini işletim ve bakım maliyeti 500 \$, sistemde kullanılan türbin gövde uzunluğu 24 metre ve yaşam ömrü 20 yıl olarak programa eklenmiştir [14]. HOMER programı, 3 kW'lık güce sahip, türbinin rüzgâr hızına bağlı olarak verebileceği güç eğrisi Şekil 7'de verilmiştir. Rüzgâr türbinleri, rüzgârın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürüp transmisyon elemanlarıyla jeneratöre ileten ve elektrik enerjisi elde edilmesini sağlayan sistemlerdir [16]. Jeneratör, rüzgâr türbinlerindeki mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesine yarayan parçadır [17]. Bu hibrit sistemlerde, AC çıkışı tipik olarak bir invertör kullanılarak depolama birimlerine (örn. piller) veya doğrudan kullanım için yük cihazlarına (örn. ev aletleri veya endüstriyel ekipman) dönüştürülür. Sistemde kullanılan aygıtların çoğu AC gücüne bağlı olduğundan, AC çıkışı tercih edilir.



Şekil 7. 3 kW rüzgâr türbinin güç eğrisi

2.2.3. Dizel Jeneratör

Dizel jeneratör, elektrik enerjisi üretmek için dizel motor ile elektrik jeneratörünün bileşiminden oluşan sistemdir. Dizel yakıtlı jeneratörlerin maliyeti kW başına 250-500 \$ arası değişmektedir [18]. Çalışmada kW başına maliyeti 300 \$ olarak işleme alınmıştır, işletim ve bakım maliyeti ise saat başına 0,01 \$'dır [19]. Dizel yakıt fiyatı Aralık 2023 dolar kuru ile 1,22 \$/L olarak hesaba katılmıştır [20]. HOMER programından yararlanılarak dizel yakıtın emisyon değeri Tablo 1'de, yakıt özellikleri Tablo 2'de verilmiştir [21].

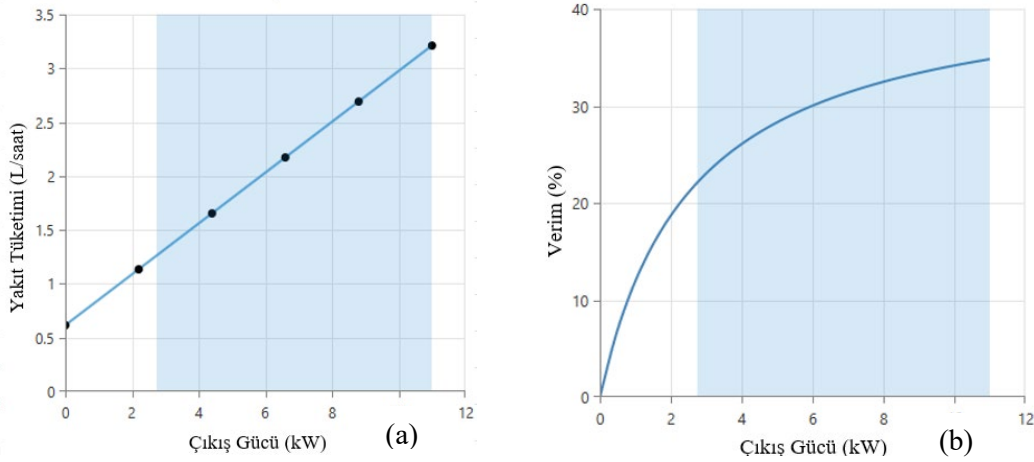
Tablo 1. Sistemde Kullanılan Dizel Yakıtın Emisyon Değerleri [21]

CO (g/L yakıt)	16,5
Partikül miktarı (g/L yakıt)	0,1
NO _x (g/L yakıt)	15,5
Yanmayan HC (g/L yakıt)	0,72

Tablo 2. Sistemde Kullanılan Dizel Yakıtın Özellikleri [21]

Alt ısı değer (MJ/kg)	43,2
Yoğunluk(kg/m ³)	820
Karbon içeriği (%)	88
Sülfür içeriği (%)	0,4

Dizel jeneratörün harcayacağı yakıtla paralel olarak erişeceği çıkış gücü ve çıkış gücüne göre verimliliği Şekil 8'de verilmiştir [6,21].



Şekil 8. (a) Dizel jeneratörün tüketeceği yakıtla çıkış gücü (b) Dizel jeneratörün çıkış gücüne göre verimliliği [6,21]

Dizel jeneratörün verim formülü aşağıda verilmiştir.

$$\text{Verim (\%)} = \frac{\text{Çıkış Gücü (kW)}}{\text{Giriş Gücü (kW)}} \quad (1)$$

Burada, giriş gücü (yakıtın sağladığı enerji) şu şekilde hesaplanabilir:

$$\text{Giriş Gücü (kW)} = \text{Yakıt Tüketimi} \left(\frac{\text{L}}{\text{saat}} \right) \times \text{Yakıt Enerji Yoğunluğu} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{L}} \right) \quad (2)$$

Yakıt enerji yoğunluğu sabit bir değer olduğundan yakıt tüketimi ile çıkış gücü arasındaki doğrusal ilişki giriş gücüne de yansır ancak verim eğrisi doğrusal olmayan bir ilişki gösterir. Çünkü düşük güçlerde motorun verimi düşer ve optimum seviyeye gelinceye kadar artar. Optimum güce yaklaştıkça verim artışı yavaşlayıp sabit bir değere ulaşır.

2.2.4. Batarya

Sistemde 1 kWh kapasiteye sahip olan 6 V'luk Li-Ion bataryalar kullanılmıştır. Bataryalar 0.90 verimlilikte çalışmaktadır. Bataryaların yaşam ömrü 15 yıl, maksimum boşaltım oranı 0,20 olarak seçilmiştir. Lityum iyon bataryanın maliyeti 450 \$, yenileme maliyeti 450 \$, yıllık işletim ve bakım maliyeti ise 20 \$ olarak hesaba katılmıştır [21]. Sistemde kullanılan bataryaya ait teknik özellikler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Generic 1 kWh Li-Ion Batarya Teknik Özellikleri

Nominal Voltaj (V)	6
Nominal kapasite (kWh)	1
Nominal kapasite (Ah)	167
Gidiş-dönüş verimliliği (%)	90
Maksimum şarj akımı (A)	167
Maksimum deşarj akımı (A)	500

2.2.5. İnvörtör (Dönüştürücü)

Dönüştürücü alternatif akım ve doğru akım gerilimleri arasındaki dönüşümü gerçekleştiren ekipmandır. Doğru akım ve alternatif akım bileşenleri arasındaki enerji akışını devam ettirmek için hibrit rüzgâr / güneş paneli / akü güç sistemi için gerekli olan dönüştürücüdür. Sistemimizde kullanılan dönüştürücünün verimi %90 olarak alınmıştır [22]. Sistemde kullanılan dönüştürücünün maliyeti 256 \$, yenileme maliyeti 256 \$ olarak belirlenmiştir. İşletim ve bakım maliyetinin yıllık 3 \$ olacağı değerlendirilerek simülasyon gerçekleştirilmiştir [23].

2.2.6. Cihazların Matematiksel Modellemesi

Rüzgâr hızı, belirli bir konumdaki rüzgâr türbininin güç çıkışını belirleyen ana faktördür. Bir rüzgâr türbininin çıkış gücü denklem (3) [24] kullanılarak hesaplanabilir.

$$P_{WT} = \begin{cases} 0 & v \leq v_{cut-in} \\ \frac{v - v_{cut-in}}{v_r - v_{cut-out}} P_r & v_{cut-in} < v < v_r \\ P_r & v_r < v < v_{cut-out} \end{cases} \quad (3)$$

P_r rüzgâr türbini nominal gücü (kW), $v(t)$ rüzgâr hızı (m/s), $v_{cut-out}$ rüzgâr türbininin düşük kesme hızı (m/s), v_r rüzgâr türbini nominal hızı (m/s) ve v_{cut-in} rüzgâr türbininin yüksek kesme hızı değerleridir (m/s).

$$V_t = V_m * \left(\frac{H_t}{H_m} \right)^{a_n} \quad (4)$$

Denklem (4) ilişkisine göre H_m rüzgâr türbini referans yüksekliği (m), H_t rüzgâr türbini kule yüksekliği (m), V_m rüzgâr türbini kule yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s), V_t referans yüksekliğindeki hız (m/s) ve a_n üstel güç yasası değerlerini ifade eder.

Güneş sistemindeki her bir güneş panelinin ürettiği toplam enerji miktarı, sistemin ürettiği toplam enerjiye eşittir. Basit PV modeli olarak bilinen Denklem (5), her panelin saatte ürettiği gücü belirlemek için ortam sıcaklığını ve güneş ışınımını kullanır [25].

$$P_{pvout}(t) = P_{(PVrated)} * \frac{v_i(t)}{1000} * [1 + \alpha_c((T_{amb} + (0,0256 * v_t)) - T_{cstc})] \quad (5)$$

$P_{pv_{out}}(t)$ PV modülünün çıkış gücünü (W), $v_i(t)$ güneş radyasyonunun değerini (W/m^2), $P_{(PV_{rated})}$ standart koşullar altında nominal PV gücünü, α_c sıcaklık katsayısını (-3.7×10^{-3} ($1/^\circ C$)), T_{CSTC} , hücre sıcaklığı ($0^\circ C$), ve T_{amb} ortam sıcaklığını ($0^\circ C$) ifade eder.

Yenilenebilir enerjideki boşlukları ve talep yüklerini gidermek için bir depolama sistemine ihtiyaç vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği enerji, yükün toplam talebini aştığında piller şarj edilir. Ancak yük talebi üretilen gücü aştığında, piller güç açığını doldurmak için gönderilir. Denklemler (6) ve (7) sırasıyla akü şarj ve deşarj süreçlerini değerlendirmek için kullanılır [26].

$$E_{Batt_{ch}}(t) = E_{Batt}(t-1) * (1 - \sigma) + \left[E_{WT}(t) + E_{PV}(t) - \frac{E_L(t)}{\eta_{Inv}} \right] * \eta_{BC} \quad (6)$$

$$E_{Batt_{disch}}(t) = E_{Batt}(t-1) * (1 - \sigma) + \left[\frac{E_L(t)}{\eta_{Inv}} - (E_{WT}(t) + E_{PV}(t)) \right] * \eta_{BD} \quad (7)$$

$E_{Batt}(t)$ bataryanın t saatindeki kullanılabilir kapasitesini (kWh), $E_{Batt}(t-1)$ bataryanın (t-1) saatteki kullanılabilir kapasitesini (kWh), $E_L(t)$ saatteki yük talebini (kWh), E_{WT} rüzgâr türbininin t saatindeki enerji üretimini (kWh), σ bataryanın kendi kendine boşalma oranını, E_{PV} PV modülünün t saatinde enerji üretimini (kWh), η_{BC} batarya şarjının verimliliğini, η_{BD} Batarya deşarjının verimliliğini ve η_{Inv} invertörün verimliliğini temsil eder. Batarya şarj verimliliği, yukarıdaki iki denklemde de η_{BC} ve η_{BD} ile gösterilmiştir. Bu, her aşamada şarj akımına bağlı olarak değişecektir.

Talep noktalarını ve yenilenebilir enerji yüklerini idare etmek için bir depolama sistemine ihtiyaç vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği enerji toplam yük talebini aştığında piller şarj edilir. Ancak yük talebi üretilen gücü aştığında, piller güç açığını doldurmak için gönderilir. Akünün deşarj ve deşarj süreçlerini değerlendirmek için denklemler (8) ve (9) kullanılmaktadır [26].

$$E_{Batt_{min}} = (1 - DOD) * E_{Batt_{max}} \quad (8)$$

Burada DOD maksimum batarya deşarjı derinliği (%)’ni temsil etmektedir. Denklem (7), invertörün giriş gücünü hesaplamak için kullanılabilir.

$$(P_{inv})(t) = \frac{P_L(t)}{\eta_{Inv}} \quad (9)$$

Burada $P_L(t)$ ve η_{Inv} sırasıyla yük gücü (kW) ve invertör verimliliğidir.

2.3. Sistem Ekonomik Girdileri

HOMER programı harcama hesaplamalarında yıllık gerçek faiz oranını kullanmaktadır. Bu simülasyon programında gerçek faiz oranı hesaplanırken güncel faiz oranı ve enflasyon oranlarından faydalanılır. Yıllık gerçek faiz oranı aşağıda verilen formül ile bulunmaktadır [21]:

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (10)$$

Burada i gerçek faiz oranı, i' güncel faiz ve f güncel enflasyon oranı oranıdır. Bu çalışma kapsamında güncel enflasyon ve faiz oranları Aralık 2023 tarihi referans olarak belirlenmiş ve faiz oranı % 42,5 [27], enflasyon oranı ise % 64,77 [28] olarak kabul edilmiştir. Bu verilere göre gerçek enflasyon oranı -% 13,52 olarak bulunmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Balıkesir’in Edremit ilçesinde ($39^\circ 38.5'N$, $26^\circ 56.7'E$) 10 dairelik bir binaya şebekeden bağımsız hibrit sistemin kurulumunun analiz edilmesi için HOMER program destekli şebekeden bağımsız hibrit sistem, binanın elektrik ve termal yük ihtiyacını karşılayacak şekilde kurgulanmıştır. Güneş paneli, rüzgâr gülü, jeneratör ve pilin her biri bir komponent olarak değerlendirilmiştir. Söz konusu komponentin yalnız başına veya bir diğer komponentle/komponentlerle birlikte kullanılması HOMER programı ile simüle edilerek en uygun sistem araştırılmıştır. Belirlenen lokasyonda göz önüne alınan bina için yapılan simülasyonlar birim enerji fiyatına göre sıralanmış ve en uygun 6 sistem Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Simülasyon Sonucu Ortaya Çıkan Hibrit Enerji Senaryoları

Architecture								Cost				System	
PV (kW)	G3	Gen (kW)	1kWh LI	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)		
41.7	2	17.0	67	22.0	LF	\$482,276	\$0.0608	\$1,473	\$82,142	98.4	213		
75.9			73	16.7	CC	\$562,353	\$0.0735	\$1,757	\$84,931	100	0		
73.2	1		66	18.1	CC	\$592,327	\$0.0757	\$1,856	\$87,980	100	0		
71.5		17.0	80	22.2	CC	\$629,778	\$0.0794	\$1,980	\$91,822	93.2	585		
	8		121	16.9	CC	\$1.05M	\$0.138	\$3,443	\$118,784	100	0		
	8	17.0	121	22.4	LF	\$1.16M	\$0.146	\$3,807	\$125,295	95.6	570		

Sistem genel olarak incelendiğinde jeneratör devrede değilken dönüştürücü gücünün 16-18 kW arasında değiştiği, jeneratör devrede iken 22 kW civarlarında olduğu gözükmektedir. Jeneratör devrede iken dönüştürücünün daha yüksek güç kapasitesinde olmasının 3 temel sebebi olabilir. Bunlar;

- **Güç Talebi:** Jeneratörlü bir sistemde, jeneratör hem yükü karşılamak hem de bataryaları şarj etmek için çalışabilir. Bu, daha fazla gücün dönüştürücü üzerinden geçmesi anlamına gelir. Dönüştürücü, alternatif akımdan doğru akıma (veya tam tersi) geçişi yönetir ve bu nedenle daha yüksek bir güç akışını yönetebilmesi için daha büyük kapasiteli bir cihaz gereklidir.
- **Yedekleme ve Güvenlik:** Jeneratör eklendiğinde, sistemin güç kapasitesi artar ve bu ekstra kapasiteyi yönetmek için konvertörün boyutunun da artırılması gerekebilir. Jeneratör hem yükü karşılamak hem de bataryaları şarj etmek için ek güç sağlar. Bu durumda, daha büyük bir dönüştürücü (22 kW) gereklidir çünkü jeneratörden gelen ek güç ile daha büyük bir enerji dönüşümü gerçekleştirilir. Aynı zamanda, daha büyük bir konvertör, yük artışlarına veya ani enerji taleplerine karşı sistemin daha güvenilir olmasını sağlar.
- **Verimlilik ve Performans:** Jeneratörlü sistemlerde, daha büyük bir konvertör, jeneratörden gelen gücü daha verimli bir şekilde yönetmek ve sistemin genel verimliliğini artırmak için gereklidir.

Hibrit enerji senaryoları içerisinde en uygun iki sistem Tablo 4'ün ilk iki satırında verilen sistemler olarak belirlenmiştir. En uygun birim enerji maliyeti 0,0608 \$ elde edilmiştir. Birim enerji maliyeti düşük olan ilk sistemde 41,7 kW'lık güneş paneli, 2 adet 3 kW'lık rüzgâr türbini, 17 kW'lık dizel jeneratör, 67 kWh'lik batarya depolama sistemi ve 22 kW'lık dönüştürücü kullanılması önerilmektedir. Uygunluk açısından ikinci sırada yer alan sistemde ise 75,9 kW'lık güneş paneli, 73 kWh'lik batarya depolama sistemi ve 16,7 kW'lık dönüştürücü olması yeterli görülmektedir. İlk sistemin net bugünkü maliyeti 482.276 \$ iken, dizel jeneratör ve rüzgâr türbininin devreden çıkarılıp elektrik enerjisinin sadece güneş paneliyle sağlanması durumunda net bugünkü maliyet %16,6 oranında artarak 562.353 \$'a yükselmektedir. İkinci sistemde ilk sisteme kıyasla daha fazla güneş paneli ve batarya olduğu için kurulum maliyeti 2.789 \$ artarak 82.142 \$'dan 84.931 \$'a yükselmiştir. Dizel jeneratörün sisteme dahil edilmesine bağlı olarak ilk sistem %98,4 yenilenebilir fraksiyon oranına sahipken ikinci sistem %100 yenilenebilir fraksiyona sahiptir olmaktadır. İlk sistemde devreye dizel jeneratörün dahil edilmesi güneş panelinde 34,2 kW azalma sağlamakta, onun yerine 17 kW'lık dizel jeneratör ve 2 adet 3 kW'lık rüzgâr türbini sisteme dahil edilmiş, elektrik üretiminin bir kısmı jeneratörle fosil yakıtlardan karşılanmıştır. Ancak, dizel jeneratörün devreye alınması emisyon değerlerinde artışa sebep olmaktadır. Dizel jeneratörün emisyon değerleri üzerine etkisi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. İlk Sistemin Emisyon Verileri

Nitelik	Değer	Birim
Karbondioksit	557	kg/yıl
Karbonmonoksit	3,51	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	0,153	kg/yıl
Partikül Madde	0,0213	kg/yıl

Sülfür dioksit	1,36	kg/yıl
Nitrojen Oksit	3,30	kg/yıl

3.1. Bataryanın Sisteme Olan Etkisi

Şebekeden bağımsız (off-grid) sistemlerde batarya maliyetinin genel maliyeti yükseltmesi sebebiyle problem teşkil ettiği tahmin edilmektedir. Güneş yoğunluğunun ve rüzgâr hızlarının sene içerisinde genele yayılmaması bataryasız sistemlerde jeneratörün kullanım miktarında artışa sebep olmaktadır. Bu artış enerji maliyetlerini, sistem maliyetlerini, yenilenebilir enerji oranını, yakıt miktarını, emisyon artışını önemli ölçüde etkilemektedir. Tablo 6'da görüleceği üzere bataryalı sistemin birim enerji maliyeti 0,0608 \$ iken batarya kullanılmayan sistemin maliyeti 0,450 \$ 'a olmaktadır.

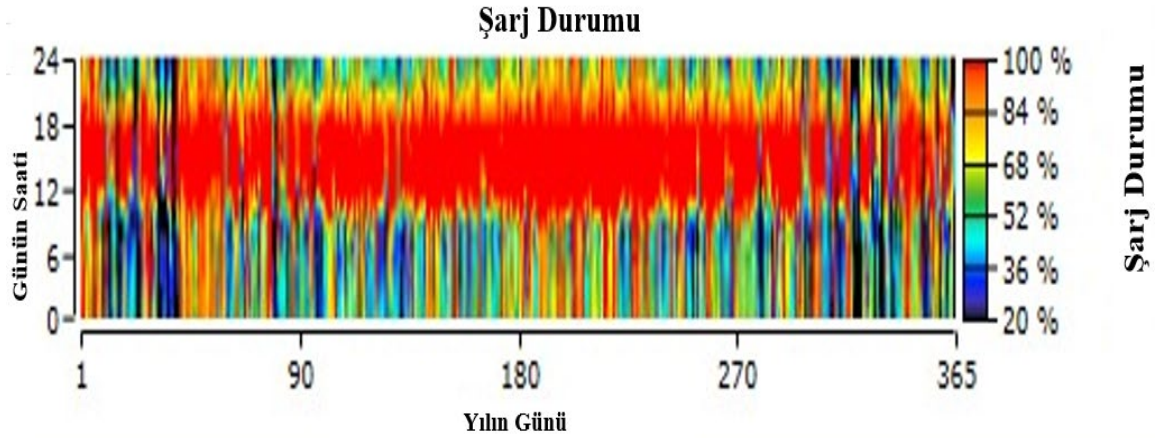
Tablo 6. Bataryalı ve Bataryasız Sistemlerin Simülasyona Bağlı Maliyet Değerleri

Architecture								Cost				System	
PV (kW)	G3	Gen (kW)	1kWh L	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)		
41.7	2	17.0	67	22.0	LF	\$482,276	\$0.0608	\$1,473	\$82,142	98.4	213		
79.9	12	17.0		7.96	CC	\$3.57M	\$0.450	\$12,592	\$147,485	50.9	6,489		

Sistemdeki yenilenebilir fraksiyonu %98,4'ten %50,9'a kadar gerilemiştir. Bununla birlikte sistemin şimdiki değeri 482.276\$'dan 3,57M\$'a (%640,24) yükselmiştir. İlk sistemde enerji kaynaklarının nasıl yönetileceğini belirleyen dağıtım stratejisi Yük İzleme (LF) iken bataryasız sistemde Döngü Şarj (CC) olmuştur. Yük İzleme stratejisi kapsamında bir jeneratöre talep olduğunda sadece talebi karşılayacak kadar güç üretir. Yük takibi, bazen yükün üzerinde çok fazla yenilenebilir enerjiye sahip sistemlerde optimal olma eğilimindedir. Döngü şarjı stratejisi kapsamında ise, bir jeneratöre talep olduğunda tam güçle çalışır ve fazla güç, batarya bankasını şarj eder. Yük İzleme yakıt tasarrufu sağlar, ancak bataryaların doluluk seviyesini korumak için daha az uygundur. Genellikle düşük talep veya değişken yüklerde tercih edilir. Döngü Şarj bataryaların her zaman dolu kalmasını sağlamak için daha iyidir, ancak daha yüksek yakıt tüketimine yol açabilir. Yüksek talep dönemlerinde ve sürekli enerji arzı gereken sistemlerde daha uygundur.

Tablo 6'da batarya kullanılmayan sistemin emisyon oranlarına bakıldığında sistemde %2.929,3 'lük oldukça yüksek bir emisyon artışı gerçekleşmiştir. Emisyon değerindeki bu artış yakıt tüketimindeki artıştan kaynaklanmaktadır. Yıllık yakıt tüketimi 213 L'den 6.489 L'ye çıkmaktadır. Batarya kullanılmayan sistemde yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen fazla elektrik enerjisi depolanamadığı gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yetersiz kaldığı durumlarda da dizel jeneratör devreye girmekte ve emisyon oluşumuna sebep olmaktadır (Tablo 7).

En uygun olarak değerlendirilen ilk sistemde kullanılan bataryanın yıl içerisindeki kullanım ve doluluk değerleri Şekil 9'da verilmiştir. Güneş ışınımının yoğun olduğu öğlen saatlerinde batarya doluluk oranının %100'e ulaştığı, diğer saatlerde ise kullanım oranlarına bağlı olarak doluluk oranında düşüşler meydana geldiği gözükmektedir.



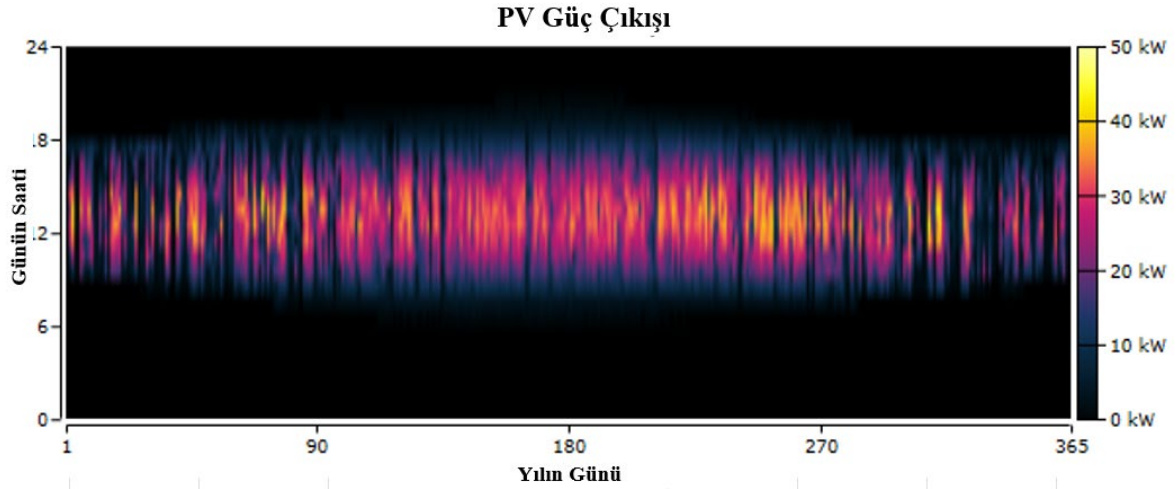
Şekil 9. Bataryanın Yıl İçerisindeki Doluluk Oranları

Tablo 7. Bataryasız Senaryonun Emisyon Verileri

Nitelik	Değer	Birim
Karbondioksit	16.985	kg/yıl
Karbonmonoksit	107	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	4,67	kg/yıl
Partikül Madde	0,649	kg/yıl
Sülfürdioksit	41,6	kg/yıl
Nitrojen Oksit	101	kg/yıl

3.2. Güneş Paneli ve Rüzgâr Türbininin Sisteme Olan Etkisi

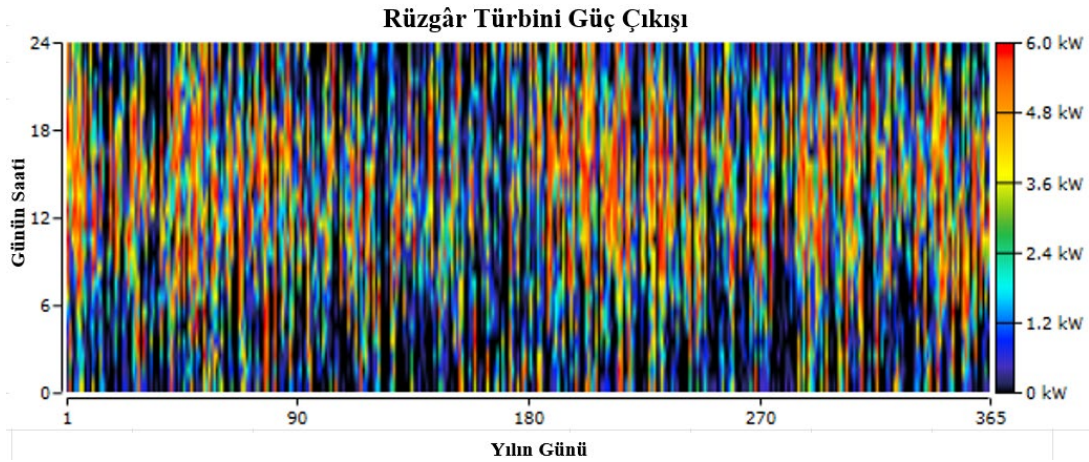
Tasarlanan sistem HOMER programında hesaplanmış ve Tablo 4’te simülasyon sonuçları gösterilmiştir. Bu tabloya göre en uygun olan sistemde kullanılan güneş panellerinin, senenin farklı gün ve zaman dilimlerinde ürettiği çıkış gücü değerleri Şekil 10’da verilmiştir. Güneş paneli Şekil 10’dan da görüleceği gibi günün belirli zaman dilimlerinde yalnız kullanılmaları halinde yetersiz kalmaktadır. Modellenen sistem optimizasyonu itibariyle, güneş panelleri üretilen güç için temel enerji kaynağıdır. Buna ek olarak, paneller yüksek kapasiteye sahip oldukları için az zamanda daha fazla enerji üretmektedir. Sistem için kullanılan güneş panelleri senede 4.388 saat çalışarak toplamda 62.863 kWh/yıl elektrik enerjisi üretmektedir. Sistemde modellenen güneş panelinin ortalama gücü 7,18 kW, günlük ortalama enerji üretimi 172 kWh ve kapasite faktörü %17,2 olmaktadır. Sisteme dahil edilen güneş panellerinin maksimum çıkış gücü ise 43 kW olarak görülmüştür. Paneller tarafından üretilen elektrik enerjisinin birim masrafı 0,00817 \$/kWh olarak belirtilmiştir.



Şekil 10. Optimum Sistemde Kullanılan Güneş Panelinin Yıl İçerisindeki Güç Çıkışı Değerleri

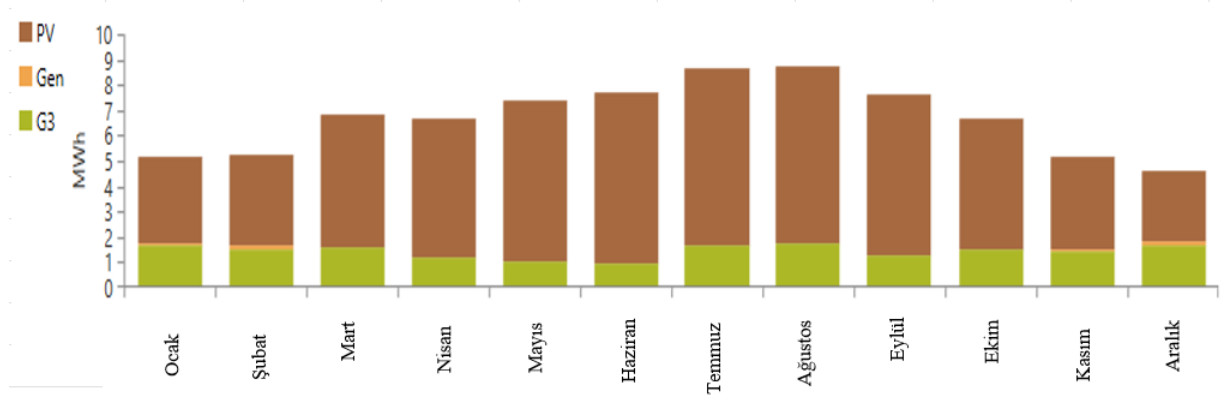
Tablo 4'teki en optimum sistemde yer alan rüzgâr türbini, yılda 7.623 saat çalışarak 17.219 kWh/yıl elektrik enerjisi üretmektedir. Sistem yer alan rüzgâr türbinlerinin maksimum çıkış gücü 6 kW, rüzgâr türbininin ortalama güç çıkışı 1,97 kW, günlük ortalama enerji üretimi 47,18 kWh ve kapasite faktörü %32,8 olarak belirlenmiştir.

Şekil 11'de ilk sistemde (en optimum sistem) kullanılan rüzgâr türbininin yıl içerisindeki güç çıkışı değerleri verilmiştir. Şekil 11'den de görüleceği üzere yılın ilk dönemlerinde rüzgar enerjisi daha etkin olmaktadır. Bunun sebebi kış aylarında güneş panellerinin yetersiz kalması ve rüzgâr türbininin sistemin ihtiyacı olan elektrik enerjisini karşılaması olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 11. Optimum Sistemde Kullanılan Rüzgâr Türbininin Yıl İçerisindeki Güç Çıkışı Değerleri

En uygun sistemde güneş paneli, rüzgâr türbini ve dizel jeneratör birlikte kullanılmıştır. Elektrik üretiminin büyük kısmı güneş enerjisi tarafından sağlanmıştır (Şekil 12). Şekil 12 incelendiğinde, yıllık 80.547 kWh elektrik üretimi gerçekleştirilen sistemde elektrik üretiminin %78'i (62.863 kWh/yıl) güneş panelleri, %21,4'ü (17.219 kWh/yıl) rüzgâr türbinleri ve geriye kalan kısmı olan %0,579'u (466 kWh/yıl) ise dizel jeneratör tarafından sağlandığı görülmektedir.

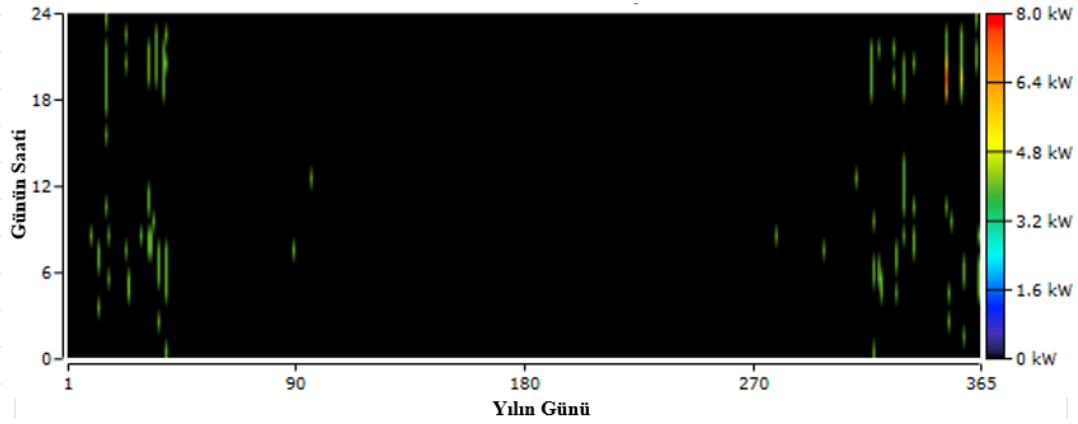


Şekil 12. Elektrik Enerji Üretiminin Bileşenlerine Ayrılmış Hali

3.3. Dizel Jeneratör Ve Yakıt Tüketiminin Sisteme Olan Etkisi

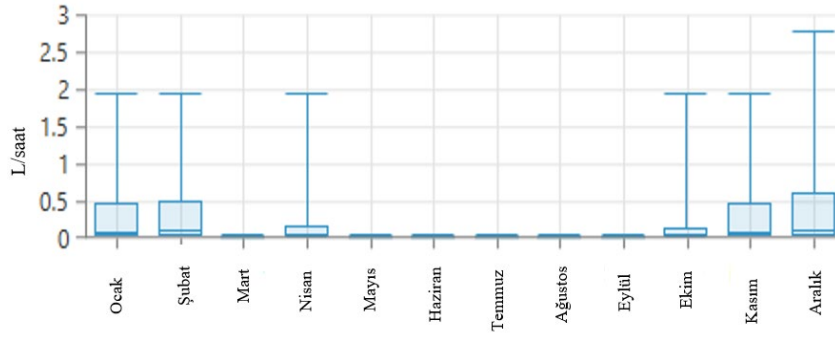
Tablo 4'teki en optimum sistemde yer alan dizel jeneratör, yılda 108 saat çalışarak 466 kWh/yıl elektrik enerjisi üretmektedir. Dizel jeneratörün yıllık yakıt tüketimi 213 L, spesifik yakıt tüketimi 0,456 L/kWh ve kapasite faktörü ise %0,313 olmaktadır.

İlk sistemdeki (en optimum sistem) dizel jeneratörün yıl içerisindeki güç çıkışı değerleri Şekil 13'te verilmiştir. Dizel jeneratörler Şekil 12'den de görüleceği gibi nisan ve ekim ayları arasında çalıştırılmamıştır. Bunun nedeni yaz aylarında güneşli gün sayısının ve güneşlenme süresinin fazla olması sebebiyle panellerin çalışma zamanının artması hem de rüzgâr türbinin sistemin ihtiyacı olan elektrik enerjisini üretimine yeterli düzeyde katkı vermesi olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 13. Optimum Sistemde Kullanılan Dizel Jeneratörün Yıl İçerisindeki Güç Çıkışı Değerleri

Sistemde kullanılan dizel jeneratörün elektrik üretimi için dizel yakıt harcaması sebebiyle Şekil 13'te verilen güç çıkışına paralel dizel yakıt tüketimi gerçekleşmiştir. Şekil 14'te dizel yakıt tüketiminin ay bazında kullanım şeması verilmiştir. Burada dizel yakıtın aylık olarak güneş enerjisinden elde edilecek elektrik enerjisinin kış aylarında azalması, rüzgâr türbininin ve bataryadaki yedek elektrik enerjisinin yetersiz kalması gibi sebeplerle dizel jeneratörün devreye girme zamanlarında yakıt tüketimi artmıştır. Nitekim dizel yakıt en çok Aralık ayında kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 14. Optimum Sistemde Tüketilen Dizel Yakıtın Yıl İçerisindeki Kullanım Değerleri

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Yapılan bu çalışmada şebekeden bağımsız (off-grid) olarak Balıkesir'in Edremit ilçesinde (39°38.5'N,26°56.7'E) lokasyonuna tasarlanan sistem güneş panelleri, rüzgâr türbinler, dizel jeneratör, batarya ve invertörden oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model, hanenin elektrik yükünün sistem tarafından karşılanabileceği şekilde tasarlanmış, sistemin analizleri HOMER programıyla yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda en iyi senaryonun PV/Rüzgâr türbini/Dizel Jeneratör/Batarya/İnvertörlü sistem olduğu belirlenmiştir. Proje kapsamında 41,7 kW'lık PV panel, 2 adet 3 kW'lık rüzgâr türbini, 17 kW dizel jeneratör, 67 adet 1 kWh'lik kapasiteye sahip 6 V'luk Li-Ion batarya depolama sistemi, 22 kW'lık dönüştürücü kullanılmıştır. Sistemin kurulum maliyeti 82.142\$, operasyon maliyeti 1.473\$/yıl, sistemin bugünkü net maliyeti 482.276\$ ve birim enerji maliyetinin 0,0608\$ olduğu hesaplanmıştır. Seçilen sistemin yenilenebilir yüzdesi %98,4 olarak bulunmuştur. Simülasyon sonucu bataryasız sistemde projenin bugünkü net maliyeti 3,57M\$ olacakken, sistemde batarya kullanıldığı takdirde projenin bugünkü net maliyeti 482.276\$'a düştüğü saptanmıştır. Bataryasız sistemde salınan zararlı emisyon gazlarının oranı bataryalı sisteme nazaran %2.929,3'lük kabul edilmesi oldukça zor bir artış gerçekleştirmektedir. Bu da sistemin kabul edilebilirliğini kısıtlamaktadır. Projenin detaylı maliyet bilgileri Tablo 8'de verilmiştir. Sistemde kullanılan komponentlerin kurulum maliyeti 82.141,67 \$, yenileme (değiştirme) maliyeti 589.601,87 \$, işletim ve bakım maliyeti 771.928,08 \$, yakıt maliyeti 70.485,18 \$ ve hurda kazanım girdisi ise 1.031.881,02 \$ olarak karşımıza çıkmaktadır. Tablo 8 incelendiğinde kurulum maliyetinde ve işletim bakım maliyetinde en büyük paya sahip olan komponentin 30.150 \$ (%36,7) kurulum maliyeti ve 364.062,48 \$ (%47,16) işletim bakım maliyeti ile Li-Ion bataryanın, yenileme maliyetinde en büyük paya sahip olan komponentin 273.751,69 \$ (%46,43) yenileme maliyeti ile rüzgâr türbininin olduğu görülmektedir. Yine tablodan da görüleceği üzere sistemde net bugünkü değere en çok fiyat artışı sağlayan 281.334,96\$ (%58,33) ile Li-Ion batarya cihazıdır. En çok hurda değeri getirisine baktığımızda ise rüzgâr türbininden sonra ikinci sırada gelmektedir ve bu ikisi genel hurda ücretinin yaklaşık %78'ini oluşturmaktadır. Bir diğer parametre olarak yakıt tüketimini incelediğimizde, yakıt tüketiminden kaynaklanan maliyetin sistemin net bugünkü değerine olan etkisinin %4,66 olduğu görülmektedir. Yine aynı şekilde giderlerin yaklaşık %51'inin operasyon ve yönetim kaynaklı olduğu gözükmektedir.

Tablo 8. Optimum Sistemin Harcama Geçmişi Tablosu

Komponentler	Maliyet (\$)	Yenileme (\$)	O&M (\$)	Yakıt (\$)	Hurda (\$)	Toplam (\$)
Jeneratör	\$5.100	\$0,00	\$4.988,20	\$70.485,18	(\$157.748,76)	(\$77.175,38)
1kWh Li-Ion Batarya	\$30.150	\$266.217,42	\$364.062,48	\$0,00	(\$379.094,95)	\$281.334,96
Rüzgâr Türbini 3 kW	\$15.000	\$273.751,69	\$271.688,42	\$0,00	(\$424.360,02)	\$136.080,09
Güneş Paneli	\$26.270,60	\$0,00	\$113.292,33	\$0,00	\$0,00	\$139.562,93
Dönüştürücü	\$5.621,07	\$49.632,76	\$17.896,65	\$0,00	(\$70.677,30)	\$2.473,18
Sistem	\$82.141,67	\$589.601,87	\$771.928,08	\$70.485,18	(\$1.031.881,02)	\$482.275,78

Bu projede hane başına 48.227,6\$ ödenmesi durumunda, 10 hanenin 25 yıllık süreyi kapsayacak şekilde elektrik ihtiyacının sistem tarafından karşılanacağı gözükmektedir. Bu da hane başına aylık yaklaşık olarak 161\$'a tekabül etmektedir. Bu sisteme yatırım yapılması sayesinde, hem yenilenebilir enerji emisyon oranlarının yenilenemez enerji kaynaklarına kıyasla daha az olmasıyla daha çevreci bir sistem olacak, hem de özkaynaklar ile enerji sağlandığı için enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasına pozitif bir etki ederek ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır. Teknolojinin gelişmesiyle beraber bu fiyatların daha da aşağı ineceği düşünülürse, gelecekte bu tip çalışmaların uygulanabilirliği için umut var demektir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. Yılmaz, Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 4:2 (2012) 33-54.
- [2] E. Mustafa, Bornova İçin Güneş-Rüzgâr Hibrid Enerji Üretim Sistemi Tasarımı. Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 2:3 (2010) 11-20.
- [3] M. A. Aktacir, B. Yeşilata, & Y. Işker, Fotovoltaik-rüzgâr hibrid güç sistemi uygulaması. Yeni Enerji Yenilenebilir Enerji Teknolojileri, 3:1 (2008) 56-62.
- [4] M.E. Dinçsoy, Orta ölçekli bir otelin elektrik enerjisinin hibrit sistemler ile modellenmesi ve optimizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [5] Gazelektrik. Erişim: 10.04.2024. <https://Gazelektrik.Com/Faydali-Bilgiler/Elektrik-Tuketimi>, 2020.
- [6] HOMER. Erişim: 13.04.2024. <https://www.homerenergy.com>
- [7] Ö. C. Külekçi, Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 1:2 (2009) 83-91.
- [8] F. Taktak, ve M. Ili, Güneş enerji santrali (GES) geliştirme: Uşak örneği. Geomatik, 3:1 (2009) 1-21.
- [9] N. Demircan, Ve B. Bayraktar, Rüzgâr Enerjisi Ve Balıkesir Bölgesindeki Potansiyeli. Balıkesir Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1:2 (2020) 84-105.
- [10] P. W. Stackhouse, Surface meteorology and solar energy, 2019.
- [11] M. Ramesh, ve R. P. Saini, Dispatch strategies based performance analysis of a hybrid renewable energy system for a remote rural area in India. Journal of Cleaner Production, 120697 (2020).
- [12] H. Özcan, Bir hibrid enerji sisteminin modellenmesi ve analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [13] T. Lambet, P. Gilman, and P. Lilienthal, Micropower system modeling with HOMER, Integration of Alternative Sources of Energy, (2006) 379-418.
- [14] M. Y. KILIÇ, ve S. ADALI, Elektrik İhtiyacının Karşılmasında Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi-Süpermarket Örneği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5:1 (2022) 224-235.
- [15] R. Erkoç, Güneş Enerji Santrallerinin Modellenmesi, Ekonomik Analizi Ve Değerlendirme: Almanya Ve Türkiye Uygulamaları, Ordu Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [16] E. Koç, Ve M. C. Şenel, Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri Mekanik Tasarım Esasları Ve Performans Araştırması. Anadolu Enerji Sempozyumu, 22-24 Haziran 2011.

- [17] J. Tangler, The evolution of rotor and blade design. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2000.
- [18] S. TÜRKDOĞAN, S. Dilber, ve Ç. A. M. Barış, Hibrit Enerji Sistemlerinin Şebekeden Bağımsız Bir Çiftlik Evinde Uygulanabilirliğinin Ekonomik ve Teknik Açından İncelenmesi. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3:2 (2018) 52-65.
- [19] C. Ghenai, ve M. Bettayeb, Modelling and performance analysis of a stand-alone hybrid solar PV/Fuel Cell / Diesel Generator power system for university building. Energy, 171 (2019) 180-189.
- [20] OPET. Erişim: 19.04.2024. <https://www.opet.com.tr/>
- [21] A. F. Güven, ve C. Hatipoğlu, Şebekeden Bağımsız Güneş/Rüzgâr/Biyogaz/Yakıt Hücresi/Batarya Tabanlı Hibrit Enerji Sisteminin Tekno-Ekonomik Analizi: Muğla Zaferler Köyü Vaka Çalışması. EMO Bilimsel Dergi, 12:1 (2022) 53-65.
- [22] K. Y. Lau, M. F. M. Yousof, S. N. M. Arshad, M. Anwari, ve Y. AHM, Performance analysis of hybrid photovoltaic/diesel energy system under Malaysian conditions. Energy, 35:8 (2010) 3245-3255.
- [23] A. F. Güven, ve M. Mertcan, Balıkesir İli Erdek İlçesi İçin Bağımsız Hibrit Enerji Sisteminin Fizibilite Çalışması ve Ekonomik Analizi. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9:4 (2021) 1063-1076.
- [24] Y. Chen, R. Wang, M. Ming, S. Cheng, Y. Bao, W. Zhang, ve D. Zhang, Constraint Multi-Objective Optimal Design of Hybrid Renewable Energy System Considering Load Characteristics. Complex & Intelligent Systems. 8:1 (2021) 803-817.
- [25] C. Ghenai, T. Salameh, ve A. Merabet, Technico-Economic Analysis of off Grid Solar PV/Fuel Cell Energy System for Residential Community in Desert Region. International Journal of Hydrogen Energy. 45:20 (2020) 11460–11470.
- [26] S. Ahmadi, S. Abdi, Application of the Hybrid Big Bang-Big Crunch Algorithm for Optimal Sizing of a Stand-Alone Hybrid PV/Wind/Battery System. Solar Energy. 134:1 (2016) 366–374.
- [27] TCMB. Erişim: 24.04.2024. <https://www.tcmb.gov.tr/>
- [28] TÜİK. Erişim. 26.04.2024. <https://data.tuik.gov.tr/>



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

Proje Seçim Problemi İçin AHP ve TOPSIS Bütünleşik Yaklaşımı: Bir Proje Yönetim Firmasında Uygulama

Ahp and Topsis Integrated Approach for the Project Selection Problem: Application in a Project Management Company

Yazar(lar) (Author(s)): Melike Gökçen ÜNVER¹, Feride Fatmanur ÖZCAN², Mehmet PINARBAŞI³

¹ ORCID ID: 0009-0004-6801-3518

² ORCID ID: 0009-0004-1517-4035

³ ORCID ID: 0000-0003-3424-2967

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ünver M.G., Özcan F.F., Pınarbaşı M., "Proje Seçim Problemi İçin Ahp ve Topsis Bütünleşik Yaklaşımı: Bir Proje Yönetim Firmasında Uygulama", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 9(3): 147-163, (2024).

DOI: 10.46578/humder.1537826



Proje Seçim Problemi İçin AHP ve TOPSIS Bütünleşik Yaklaşımı: Bir Proje Yönetim Firmasında Uygulama

Melike Gökçen ÜNVER¹, Feride Fatmanur ÖZCAN², Mehmet PINARBAŞI^{3,*}

^{1,2,3} Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71000, YAŞIŞIHAN/KIRIKKALE

Öz

Belirlenen zaman içerisinde belirli amaç etrafında toplanan bir grubun yaptığı çalışmalar proje olarak adlandırılmaktadır. Proje sahibi kurumlar yapılacak olan projeleri işi görecektir olan kurumlara duyurur. Kurumlar bu projeler üzerinde gereklilikleri yerine getirmek şartıyla anlaşmaları imzalar. Projenin yapımını üstlenme aşamasında projeye dair birçok kriterin göz önünde bulundurulması gerekir. Bu kriterlerin her birinin önemi farklıdır. Eğer proje bu kriterleri istenen düzeyde sağlayabiliyorsa projede anlaşmaya varılır ve yapımı gerçekleştirilir. Bu aşamada proje yapımını üstlenen taraf birçok proje içerisinde kriterlerini en iyi ölçüde sağlayıp en iyi kazancı getirecek uygun projeyi seçmekte zorluk yaşar. Kısıtlı kaynakların kullanımı ve proje yapımının belirli maliyetler oluşturması nedeniyle birçok projenin arasından seçilen projenin en uygun proje olması proje bazlı çalışan kurumlar için büyük önem arz etmektedir. Yanlış bir proje seçiminde kaynakların israfı, zarar etme, anlaşmazlıklar, sürecin iyi yönetilememesi gibi sorunlar söz konusu olabilmektedir. Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak proje seçim problemi üzerinde durulmuştur. Değerlendirme kriterlerinin belirlenmesinin ardından Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi ile kriterler ağırlıklandırılmıştır. Belirlenmiş alternatif projeler oluşan ağırlıklar kullanılarak TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmiş ve uygun proje sırası elde edilmiştir. Önerilen çözüm yaklaşımı demir-çelik, savunma ve otomotiv sektörlerinden proje bazlı işler alıp yürüten bir firmada gerçek veriler ile uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre maliyet ve kar kriterleri en önemli kriterler, proje çeşidi ve müşteri ilişkisi kriterleri ise diğer kriterlere göre en az öneme sahip kriterler olarak belirlenmiştir. Yapılan TOPSIS uygulaması sonucunda alternatif projelerden inşaat projeleri ilk sırada çıkmıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 02/09/2024
Yayın: 31/12/2024

Anahtar Kelimeler

Proje seçim problemi
AHP
TOPSIS
Seçim kriterleri
Çok kriterli karar verme

Keywords

Project selection problem
AHP
TOPSIS
Selection criteria
Multi-criteria decision making

AHP And TOPSIS Integrated Approach for the Project Selection Problem: Application in a Project Management Company

Abstract

The activities carried out by a group gathered around a specific purpose within a specified time is called a project. Project owner institutions announce the projects to be carried out to the institutions that will undertake the work. Institutions sign agreements on these projects on condition that they fulfill the requirements. Many criteria regarding the project need to be taken into consideration when undertaking the construction of the project. Each of these criteria has different importance. If the project meets these criteria at the desired level, an agreement is reached on the project and its construction is carried out. At this stage, the party undertaking the project faces difficulty in selecting the most suitable project from numerous ones that can best fulfill its criteria and generate optimal returns. Due to limited resource utilization and specific costs associated with project construction, it is crucial for organizations working on a project basis that the selected project stands out as most suitable among various alternatives. Choosing an inappropriate project may lead to resource wastage, financial loss, disputes, and ineffective management of processes. In this study, the project selection problem is focused on using multi-criteria decision-making methods. Following the determination of evaluation criteria, Analytic Hierarchy Process (AHP) was utilized to prioritize these criteria based on their weights. The determined alternative projects were evaluated with the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) method using the resulting weights and the appropriate project order was obtained. The proposed solution approach was implemented with real data in a company that undertakes and executes project-based works from the iron-steel, defense and

*İletişim yazarı, e-mail: mpinarbasi@kku.edu.tr

automotive sectors. According to the results obtained, cost and profit criteria are determined as the most important criteria, while project type and customer relationship criteria are determined as the least important criteria compared to other criteria. Following TOPSIS application results revealed that construction projects ranked first among alternative projects.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Proje, bir veya daha fazla kişinin bir araya gelerek belirli süre içerisinde benzeri olmayan bir ürünü veya hizmeti ortaya koyması olarak tanımlanabilir [1]. Kurumlarda aynı anda birçok proje yapılabilmektedir. Bu süreçte projeler kabul edilmeden önce belirli kısıtlara tabi tutularak kurum menfaati için projeler birbiriyle kıyaslanır. Bu kıyaslama sonucunda projeler için kriterler ve önem değerleri konusu öne çıkar. Projelerin seçilen kriterler ile değerlendirilmesi proje seçim problemi (PSP) olarak tanımlanmaktadır. PSP elde bulunan kaynakların etkin kullanımı ve istenen sonucu elde etmek için, proje yapan tarafın amacına ve kaynaklarına hizmet edecek kriterlerin göz önünde bulundurulmasıyla elde edilen projelerin değerlendirilmesi ve bu değerlendirmeler sonucunda hangisinin yapılacağına karar verilmesi şeklinde tanımlanabilir. Bir proje yapılırken sınırsız kaynaklardan yararlanılmaz, elde bulunan kaynakların oluşturduğu kısıtlar dâhilinde projeler gerçekleştirilir. Bu kısıtlar; bütçe, zaman, işgücü, kapasite vb. kısıtlar olabilir. Bu yüzden proje yapımına karar verileceği zaman elde bulunan kaynakların oluşturduğu çerçevede amaca yönelik kriterler göz önünde bulundurulur. Bu çalışmanın konusu da proje seçim problemidir. Çalışmada, PSP için kriterlerin ağırlıklandırılması için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve alternatif projelerin seçimi için TOPSIS bütünlük yaklaşımının uygulanması ele alınmıştır.

Proje seçimi birçok sektörü kapsayan geniş kapsamlı bir problemdir. Bu sebeple neticesinde PSP çözümü karmaşık birçok neden ve etkenin etkisine açıktır. Projelerin kurumlara kar sağlayabilmesi için şu özellikler aranır: (i) projenin ilerleyen zamanlarında beklenmeyen sonuçlarla karşılaşılması, (ii) beklenmedik sonuçların en aza indirilmesi, (iii) proje alıcısının elde bulunan kaynakların farkına vararak işe başlaması, (iv) kapasitelerinin üstünde bir iş almaması. Bu özelliklerinden dolayı PSP literatürde genellikle seçilmiş bir sektör üzerinde uygulanmıştır [2]. Sadece savunma sanayinde PSP'yi ele alan çalışmalar tek sektöre odaklanmış çalışmalara örnek verilebilir [3]. Ancak gerçek hayatta firmalar birçok sektörde projeler yürütebilmektedir. Sektörlerin farklılaşması PSP'yi daha da zorlaştırmaktadır. Kriterlerin seçiminin ve uygun seçim yönteminin belirlenmesi proje yöneticilerinin karşılaşacağı zorlayıcı problemler olacaktır. Bu sebeplerle çalışmada farklı sektörlerde projeler yürüten bir proje yönetim firmasında PSP'nin çözümüne odaklanılmıştır.

Farklı sektörlerde projeler yürüten bir proje yönetim firmasında en önemli problem firma kaynaklarını etkin şekilde kullanarak hangi projelerin seçileceğidir. Bu bağlamda çalışmanın literatüre katkılarını şu şekilde vermek mümkündür. Belirli bir sektörde değil birçok sektörde projeler yöneten bir firma için PSP çözülmüştür. PSP için sektör bağımsız bir seçim kriter havuzu önerilmiştir. PSP için AHP ve TOPSIS bütünlük bir çözüm önerisi sunulmuştur. Gerçek veriler kullanılarak bir vaka analizi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma giriş bölümünden sonra şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde kapsamlı bir literatür araştırması sunulmuştur. Üçüncü bölüm çalışmada kullanılan AHP ve TOPSIS bölümü hakkında bilgi verir. Tüm detayları ile PSP'nin bir uygulaması Bölüm 4'te sunulmuştur. Çalışma Bölüm 5'te verilen sonuç bölümü ile sonlandırılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Bu bölümde PSP hakkında kapsamlı bir literatür taraması yapılmış elde edilen çalışmaların bir listesi verilmiştir. İlgili liste Tablo 1'de görüldüğü şekildedir. Tablo 1'de yapılan taramadan çıkardığımız sonuçlara göre; PSP çözümünde en önemli aşama kriterlerin belirlenmesi aşamasıdır. Kriterler projelerin sektörüne, alanına, niteliklerine göre değişebilmektedir. Ayrıca literatür çalışmalarında kriterlerin belirlenmesinde genellikle uzman görüşünden faydalandığı söylenebilir. Uzman görüşleri grup karar verme tekniği ile karar verme yönteminin ilgili sürecinin planlanmasında kullanılır.

Literatür araştırması ile projelerin seçiminde kullanılan çalışmalarda genel ve özel kriterler olmak üzere iki tür kriterlerin ele alındığı görülmüştür. Özel kriterlere örnekler vermek gerekirse; Ar-Ge alanında yapılan

proje seçiminde inovatif yön [4], bilgi sistemleri alanında IS proje yeteneği [5], hastane yönetimi alanında mevcut hastanelerin doluluk oranı [6], savunma sanayi alanında teşkilat değişikliği ihtiyacı [3], inşaat sektöründe proje seçiminde coğrafi konum [7], lojistik sektöründe hız [8], yatırım projesi seçiminde sermaye karlılık oranı [9], üretim sektöründe proje seçiminde geri ödeme süresi [10]. Buradan sektöre bağlı olarak özel kriterlerin oluşabileceği ve oluşan kriterlerin değişiklik gösterebileceği sonucu çıkarılmaktadır.

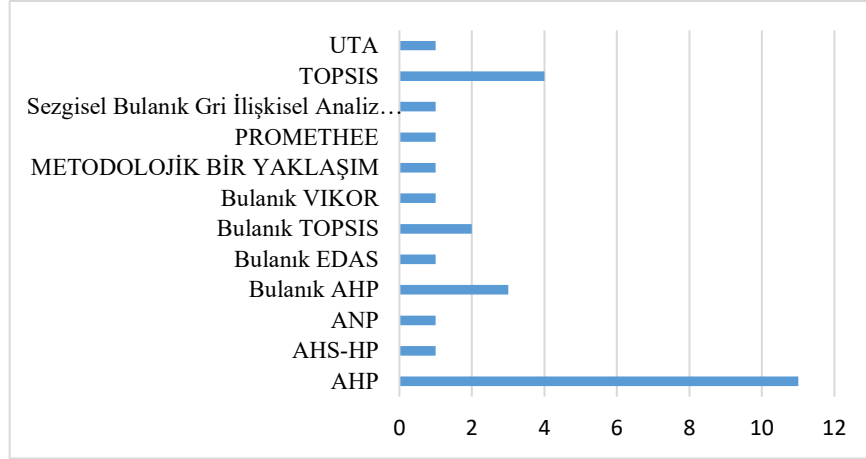
PSP’de tüm alan ve sektörlerde ortak kriterler de bulunmaktadır, bu kriterlere genel kriterler de denebilir. Literatürde bulunan çalışmalarda da sıkça genel kriterler kullanılmıştır. Bu kriterlere örnek şu kriterler verilebilir: maliyet [11], kapasite [8], proje süresi [12], bütçe [13], personel sayısı [14], uygulanabilirlik [15], teknolojik yeterlilik [16], pazar analizi [16], alt yapı ve ekipman yönünden yapılabirlik [2], kar [17], kaynak gereksinimleri [7]. Bu kriterler çoğu proje için geçerli nitelikte olacak genel kriterlerdir.

Literatürde ÇKKV yöntemleri tekli, ikili veya çoklu olarak kullanılmıştır. Literatürde ÇKKV yöntemlerinden sadece birini kullanarak PSP’ye çözüm üreten çalışmalar mevcuttur. Alyamani ve Long [18] PSP için bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır. Binici ve Aksakal [16], UTA yöntemini kullanmışlardır. Cheng ve Lı [7], ANP yöntemini kullanmışlardır. Dodangeh vd. [17] TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Düzdar Argun ve Acar [15], AHP yöntemini kullanmışlardır. Hamurcu vd. [8], AHP yöntemini kullanmışlardır. Enea ve Piazza [19], Bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır [13], MBY yöntemini kullanmışlardır. Kalender ve Aygün [10], PROMETHEE yöntemini kullanmışlardır. Kas Bayrakdaroğlu ve Kundakcı [4], Bulanık EDAS yöntemini kullanmışlardır. Khalili-Damghani ve Sadi-Nezhad [20], Bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Yakıcı Ayan ve Perçin [21], Bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Yıldırım ve Kuzu Yıldırım [22], SBGI yöntemini kullanmışlardır. Yıldız [23], Bulanık VIKOR yöntemini kullanmıştır. İncelenen çalışmalardan 14’ü tekli yöntem kullanarak PSP’yi ele almıştır.

İki yöntemi bir arada kullanan literatür çalışmaları ise şu şekildedir: Baysal Türkölmez [24] yazılım sektöründe PSP’yi çözmek için TOPSIS ve VIKOR yöntemlerini bir arada kullanmışlardır. Amiri [22], AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini bir arada kullanmıştır. Bellahcene vd. [25] AHP ve ATBHP yöntemlerini bir arada kullanmışlardır. Gökşen ve Çevik [9], AHP ve VIKOR yöntemlerini bir arada kullanmışlardır. Hamurcu ve Eren [26], AAS-HP ve AHS-HP yöntemlerini bir arada kullanmışlardır. Hamurcu ve Eren [27] bir başka çalışmalarında ise Bulanık AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanmışlardır. Karaman ve Çerçioğlu [6], AHP ve VIKOR yöntemlerini bir arada kullanmışlardır. Mahmoudi vd. [28] OPA ve TOPSIS yöntemlerini bir arada kullanmışlardır. Taş vd. [11] AHP ve HPKM yöntemlerini kullanmışlardır. Uçakcıoğlu ve Eren [12], AHP ve VIKOR yöntemlerini bir arada kullanmışlardır. Xiaoxia Duan [5], AHP ve TOPSIS yöntemlerini bir arada kullanmıştır.

Nadirde olsa literatürde üç ve daha fazla ÇKKV yöntemini bir arada kullanan çalışmalar da mevcuttur. Kurtay vd. [3] AHP, ARAS, EDAS, MATU, MOORA, NBÖP, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerini proje değerlendirmesinde karşılaştırmalı olarak kullanmışlardır. Yıkıcı ve Özçelik [29]; ARAS, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerini kullanmışlardır.

Çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV), belirlenmiş kriterlerin dahilinde alternatif seçimini en iyilemek için kullanılırlar. Literatürde birçok ÇKKV yöntemi bulunmaktadır [14]. Bu yöntemler seçim problemlerinde sıklıkla başvurulan yöntemlerdir. Literatür araştırmasında elde edilen verilerden oluşturulan Şekil 1’de de görüldüğü üzere AHP ve TOPSIS yöntemlerinin kolay kullanımı sayesinde sıklıkla tercih edildiği söylenebilir. Literatürün bulunduğu durumun daha anlaşılır görülmesi amacıyla oluşturulan Şekil 1 ve Şekil 2’nin oluşturulmasında Tablo 1’de verilen tüm yerli ve yabancı kaynaklar kullanılmıştır.



Şekil 1. Literatürde yer alan proje seçim çalışmalarının yöntemleri

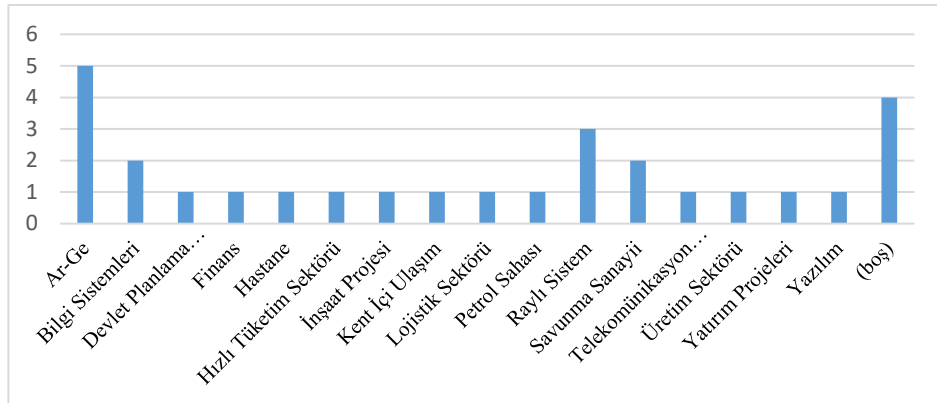
Proje seçimi birçok sektör ve alanda gerçekleştirilen bir eylemdir. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında; Şekil 2’de de gösterildiği üzere PSP üzerine en fazla Ar-Ge alanında çalışma yapılmıştır. . Bunu takiben Raylı Sistem [8], Savunma Sanayii [3] ve Bilgi Sistemleri [25] gelmektedir. Bu sektörlerde PSP çalışmalarının yoğunlaşmasının nedeni bu alanlarda genellikle proje tipi üretim gerçekleştirilmesindedir. Bunun yanı sıra savunma sanayi gibi sektörlerdeki projelerin oldukça yüksek bütçelere sahip olması da çalışmaların yapılmasında bir etkidir. Literatür incelendiğinde birçok sektörde faaliyet gösteren bir firma için PSP üzerinde yapılmış bir çalışmanın literatürde olmadığı görülmüştür.

Tablo 1. Literatür araştırması

Yazarlar	Uygulama alanı/yeri	Yöntemler																							
		0-1 HP	AHP	AAS-HP	AHS-HP	ANP	ARAS	ATBHP	B. AHP	B. EDAS	B. TOPSIS	B. VIKOR	EDAS	HPKM	MAUT	MOORA	MBY	NBÖP	OPA	PROMETHEE	SBGI	TOPSIS	UTA	VIKOR	
Amiri [22]	Petrol sahası		√								√														
Alyamani ve Long [18]								√																	
Baysal Türkölmez [24]	Yazılım																					√		√	
Bellahcene vd. [25]	Bilgi sistemleri		√						√																
Binici ve Aksakal [16]	Ar-ge																						√		
Cheng ve Li [7]	İnşaat projesi					√																			
Dodangeh vd. [17]	Telekomünikasyon projeleri																					√			
Düzdar Argun ve Acar [15]	Ar-ge		√																						
Enea ve Piazza [19]									√																
Gencer ve Doğan [13]	DPT projeleri																√								

Tablo 2. Devam

Yazarlar	Uygulama alanı/yeri	Yöntemler																							
		0-1 HP	AHP	AAS-HP	AHS-HP	ANP	ARAS	ATBHP	B. AHP	B. EDAS	B. TOPSIS	B. VIKOR	EDAS	HPKM	MAUT	MOORA	MBY	NBÖP	OPA	PROMETHEE	SBGI	TOPSIS	UTA	VIKOR	
Hamurcu vd. [8]	Lojistik sektörü		√																						
Hamurcu ve Eren [27]	Raylı sistem			√	√																				
Hamurcu ve Eren [30]	Kent içi ulaşım							√																√	
Kalender ve Aygün [10]	Üretim sektöründe uygulama sı																			√					
Karaman ve Çerçioğlu [6]	Hastane		√																						√
Kas Bayrakdaroğlu ve Kundakcı [4]	Ar-ge									√															
Khalili-Damghani ve Sadi-Nezhad [20]	Finans									√															
Kurtay vd. [3]	Savunma sanayii		√					√				√		√	√	√		√				√		√	√
Mahmoudi vd. [28]																		√				√			
Taş vd. [31]	Monoray (raylı sistem)		√										√												
Uçakcıoğlu ve Eren [12]	Hava savunma sanayii		√																						√
Xiaoxia Duan [5]	Bilgi sistemleri		√																				√		
Yakıcı Ayan ve Perçin [21]	Ar-ge									√															
Yıkıcı ve Özçelik [29]	Hızlı tüketim sektörü							√															√		√
Yıldırım ve Kuzu Yıldırım [2]	Ar-ge																				√				
Yıldız [23]											√														



Şekil 2. Literatürde yer alan proje seçim çalışmalarının alanları

Literatürde görüldüğü üzere birçok alan ve sektörde proje seçim çalışması yapılmıştır fakat bir proje yönetim firmasında PSP'ye yönelik literatürde bir çalışma olmadığı görülmektedir. Proje bazlı çalışan bir firmada, AHP yöntemi ile kriterlerin ağırlıklandırılması ve TOPSIS yöntemiyle proje alternatiflerinin değerlendirilerek proje seçiminin uygulanması literatüre yeni bir katkıdır. Yapılan bu çalışma, proje bazlı çalışan tüm firmalara ve proje seçimi yapılan tüm çalışmalara genel uyarlanabilir bir kaynak niteliğine sahiptir. İlerleyen süreçte yapılacak diğer akademik çalışmalar için de bir kaynak niteliğindedir.

3. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

3.1. AHP

AHP, Thomas L. Saaty [32] tarafından geliştirilmiş bir karar modelidir. ÇKKV problemlerini çözme konusunda oldukça sık uygulama sahası bulmuştur. Karar problemlerinde kriterler ve alt kriterler AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmaktadır.

AHP yöntemi problem tanımını başlar ve sonra problem ile ilgili amaç belirlenir. Kriterler amaca etki edecek şekilde belirlenir. Kriterlerin birbirlerine göre görece üstünlükleri ikili karşılaştırma matrisleri kullanılarak modellenir. İkili karşılaştırma matrisinin boyutu $n \times n$ şeklindedir. İkili karşılaştırma matrisindeki köşegen değerler 1 değerini alır. İkili karşılaştırma matrisleri Eşitlik 1'de verilen yapıda oluşturulur. Bunun için kriterlerin birbirlerine göre önem skalası olarak Tablo 2'de verilen Saaty [32] tarafından geliştirilmiş ölçek kullanılır.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{21} & a_{n1} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{n2} \\ 1/a_{n2} & 1/a_{n2} & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (1)$$

Tablo 2. Saaty 1-9 önem skalası

Önem değerleri	Değerler
1	Her iki faktör eşit önemde ise
3	Kriter 2, kriter 1'den daha az önemli ise
5	Kriter 1, kriter 2'den daha önemli ise
7	Kriter 1, kriter 2'den çok daha önemli ise
9	Kriter 1, kriter 2'den kesinlikle daha önemli ise
2,4,6,8	Ara değerler

Öz vektörün hesaplanması: Eşitlik 3'teki matriste oluşturulan her bir eleman ikili karşılaştırma matrisini Eşitlik 2 yardımıyla hesaplar.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & b_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (3)$$

Eşitlik 4'te faktörlerin önem derecelerini belirten yüzde önem dağılım dereceleri oluşturulur. Bu değerler Eşitlik 3'teki B matrisinin satır ortalamaları kullanılarak elde edilir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (4)$$

Tutarlılık oranı (CR) hesaplanması: Çalışmanın tutarlılığını test etmek için uygulamada AHP yönteminde elde edilen ağırlıklar kullanılır. Karar matrisi ile öz vektörün çarpılması sonucu tutarlık testi için Eşitlik 5'teki D vektörü elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_m \end{bmatrix} \quad (5)$$

Eşitlik 6'daki E_i sütun vektörü, bulunan D sütun vektörünün öz vektöre bölünmesi formülü kullanılarak elde edilir.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (6)$$

Eşitlik 7'de elde edilmek istenen λ değeri, E sütun vektörünün aritmetik ortalamasının alınması biçimde gösterilmiştir.

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (7)$$

Tutarlılık oranı (CR) Eşitlik 8 ile hesaplanır. Eşitlikte geçen rassallık değeri Tablo 3'ten kriter sayısına göre belirlenir.

Tablo 3. Rassallık göstergesi tablosu

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (8)$$

Eşitlik 8’de uygulanan karşılaştırmanın tutarlılık oranı sonucu 0.10’dan küçükse karşılaştırmanın tutarlı olduğu söylenebilir. Fakat sonuç 0.10’dan büyükse karşılaştırmada işlemlerde bir yanlışın olduğu ya da verilerde tutarsızlık saptandığı sonucuna varılır ve ikili karşılaştırma matrisi gözden geçirilir.

3.2. TOPSIS

1981 yılında Hwang ve Yoon [33] tarafından TOPSIS yöntemi geliştirilmiştir ve ideal çözüme olan uzaklıklar göz önüne alınarak planlanmıştır. TOPSIS karar verme problemlerinde hangi alternatifin en iyi olduğu ve bu alternatiflerin sıralanmasını elde eder. Altı adımdan oluşan TOPSIS yöntemi aşağıda verilmiştir [34, 35, 36].

1-adım: Karar matrisinin (A) ’nın oluşturulması:

m, karar birimi sayısı; n, karar kriteri sayısını göstermek üzere,

2-adım: Standart karar matrisinin oluşturulması:

Karar matrisi R matrisi için her bir eleman A matrisi kullanılarak Eşitlik 9 ile hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (9)$$

3-adım: Ağırlıklı standart karar matrisi (V)'nin oluşturulması

Kriterlerin ağırlık oranları bulunur. Bulunan ağırlık oranları yorumlanır. Ağırlıklı standart karar matrisi sonucu, standart karar matrisindeki ilgili kriter değeri ile her ağırlık değeri çarpılarak bulunur.

Ağırlık değerleri (wi) Eşitlik 10 ile bulunur.

$$\sum_{i=1}^n wi = 1 \quad (10)$$

Daha sonra ağırlıklı standart karar matrisi (V) matrisi: Wi değeri ilgili R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ile çarpılarak bulunur.

4-adım: İdeal (A+) ve negatif ideal (A-) sonuçların bulunması

Katkı kriteri birinci şartla, karar kriteri maksimizasyon yönlü sonuçlandığı durumda; ikinci şartlara göre seçim oluşturması, maliyet kriteri bulunduğu yani minimizasyon yönlü olduğunda; (A+) ve (A-) çözümleri m elemanlı biçimi Eşitlik 11 ile 12’de gösterildiği şekildedir.

$$A^+ = \{(max_i v_{ij} | j \in J), (min_i v_{ij} | j \in J)\} \quad (11)$$

$$A^- = \{(min_i v_{ij} | j \in J), (max_i v_{ij} | j \in J)\} \quad (12)$$

5-adım: Euclidian uzaklık yaklaşımı

Her bir karar noktası için Eşitlik 13 ve 14 ile ideal ayırım ölçütleri bulunur.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (13)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (14)$$

6-adım: İdeal çözüme göreliliğin hesaplanması

İdeal sonuca göreliliğin ayırım ölçütleri uygulanarak aşağıdaki eşitlik sayesinde bulunur.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_j^- + S_i^*} \quad (15)$$

$0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığı elde edilen sonuç; karar noktasının ideal sonuca ilgili $C_i^* = 1$; negatif çözüme mutlak mesafesini sunar $C_i^* = 0$ alakalı karar noktası.

4.UYGULAMA (APPLICATION)

Bu bölümde çalışma da geçen problemin tanımlanması, problemin çözümlenmesinde kullanılan kriterlerin belirlenmesi, değerlendirilmesi, belirlenmiş alternatiflerin ağırlıklar kullanılarak seçilmesi yapılır.

Bu çalışmada yapılmış olan uygulamaların akış şeması Şekil 3'te verildiği gibidir. Akış şeması problemin belirlenmesi ile başlamaktadır. Daha sonra proje seçimine etki eden kriter setleri belirlenmiştir. Belirlenen kriterlerin seçim problemine etki seviyesini belirlemek için AHP yöntemi ile kriterler ağırlıklandırılmıştır. Firma ile yapılan görüşmelerden farklı sektörlerden yapılan proje başvuruları değerlendirilerek alternatif proje seti belirlenmiştir. TOPSIS yöntemi ile belirlenen alternatifler arasından en uygun projelerin seçilmesi için bir sıralama elde edilmiştir. Akış elde edilen sonuçların yorumlanması ile sonlandırılmıştır.



Şekil 3. Uygulama akış şeması

4.1. Problemin Belirlenmesi

Bu bölümde proje ekibinin problem belirleme aşamasından bahsedilecektir. Projelerde uygulayıcı tarafların projelerin yapımına dair anlaşmalarından önce kendi kurumlarını (kısıtlar, amaçlar vb. bakımdan) göz önünde bulundurmaları ve daha sonra karar vermeleri gerekmektedir. Bu safhada kurumlara birçok proje uygulama/yapım teklifi gelmektedir ve ilgili kurum tüm bu projeler içinden kriterlerine en uygun olan proje ya da projeleri seçmek istemektedir. Bu şekilde birden fazla proje içerisinden uygun proje ya da projelerin belirlenmesi proje seçim problemi olarak adlandırılır.

Bu çalışmada finansal, kaynak bazlı, projenin uygulanabilirliği ve sosyallik açısından belirlenmiş bir kriter seti üzerinden bir proje firmasına yapılan proje başvurularından en uygun olanlarının seçimi üzerinde durulacaktır. Sonraki bölümlerden seçime etki eden kriterler belirlenecektir. Sonrasında belirlenmiş alternatif proje setinden en uygun sıralama elde edilecektir.

4.2. Kriterlerin Belirlenmesi

Çalışmada dikkate alınacak kriter seti gözlem, araştırma, firma görüşmeleri ve uzman ekipçe yapılan grup karar verme tekniği sonucunda tespit edilmiştir. Çalışmada değerlendirme yapan uzman ekip hakkında bilgiler Tablo 4'te verilmiştir. Çalışmalar sonucunda 4 adet ana kriter, 16 adet alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterler açıklamalarıyla birlikte Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4. Uzman ekip

Uzman	Pozisyon	Meslek	Deneyim (yıl)
1	Doçent	Akademisyen	16 yıl
2	İşveren	Mühendis	15 yıl
3	Proje çalışanı	Mühendis	4 yıl
4	Proje çalışanı	Mühendis	4 yıl

Tablo 5. Belirlenen kriterler ve açıklamaları

Ana kriterler	Alt kriterler	Açıklamalar
Finansal	Maliyet (MLY)	İşin firmaya getireceği maliyetin ayrılan bütçe ile karşılanıp karşılanamamasını ifade eder.
	Kar	Teslim edilecek ürünün sağlayacağı ekonomik yararı ifade eder.
	% Ceza payı (CP)	Projede gecikmeler ya da istenmeyen durumlar gerçekleştiği zaman katlanılacak olan cezayı ifade eder.
	Ödeme biçimi (ÖB)	Proje bedelinin ödeme şeklini (peşin, taksit vs.) ifade eder.
Kaynak	Hammaddelerin tedarik edilebilirliği (HTE)	Projede kullanılacak olan hammaddelerin tedarik edilip kullanılabilir duruma getirilme süresini ifade eder.
	Makine kapasitesi (MK)	Elde bulunan makinelerin alınan projeyi belirlenen sürede yapacak kapasiteye sahip olup olmamasını ifade eder.
	İşçi kapasitesi (İK)	Elde bulunan işçi ile bu işin gerekli atamalarla karşılanıp karşılanamayacağını belirlenmesini ifade eder.
	% Dış kaynak kullanımı (DK)	Teslim edilecek ürünün bütünleşmesi için üründe kullanılması adına firma dışında yaptırılacak işleri ifade eder.
Proje uygulanabilirliği	Teslim zamanı (TZ)	Projenin teslim edildiği güne kadar geçen süreyi ifade eder.
	Projenin yapılacağı süre (PS)	Projenin yapımında geçen süreyi ifade eder.
	Projenin yapılabilirliği (PY)	Projenin elde bulunan kaynaklar ile yapılabilmesi, zorluğunun yapılacak seviyede olup olmamasını ifade eder.
	Projenin karmaşıklığı (PK)	Projenin firma yeteneklerine göre ne kadar karmaşık bir yapıda olduğunu ifade eder.
	Proje çeşidi (PÇ)	Projenin hangi sektöre hizmet ettiğini (otomotiv sektörü, inşaat sektörü vb.) tanımlar.
Sosyal	Müşteri ilişkisi (Mİ)	Projenin alınacağı şirket ile olan ilişki ve güveni ifade eder.
	Prestij (P)	Firmaya sağlayacağı isimsel başarıyı firmanın isminin duyurulmasını ifade eder.
	Rekabet ve pazar analizi (RPA)	Kabul edilecek olan projenin sektördeki diğer firmalara karşı sağlayacağı rekabeti avantajını ifade eder.

4.3. Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Bu aşamada Bölüm 3.1 bölümünde açıklanan AHP yönteminin adımları ve formülleri kullanılarak kriterler ağırlıklandırılmıştır. Yapılan hesaplamalar adım adım aşağıda verilmiştir.

1. Ana kriterler ve alt kriterler kendi içlerinde Saaty'nin 1-9 skalası kullanılarak puanlandırılmış ve ikili karşılaştırma matrisleri elde edilmiştir. Ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi Tablo 6'da

verilmiştir. Örneğin uzmanlara göre finansal kriterler 3 puan alırken kriterlerin kaynakasal kriterlerin 1/3 alması; finansal kriterlerin, kaynakasal kriterlerden biraz daha önemli görülmesidir. Çünkü uzmanlar puansal değerlendirmeye ve iki tür kriterin karşılaştırmasında farklı nedenleri göz önünde bulundurup kıyaslamışlardır. İşletmenin en temel amacının kar elde edebilmek ve maliyeti minimize etmektir. Bu amacın uygulanabilmesinde içinde işletme için önemli yere sahip olan finansal kriterlerin, kaynakasal kriterlere göre daha yüksek puan alması gerekli olduğu ön görülmüştür. Finansal kriterler ve kaynakasal kriterler arası puan farkının az olmasının nedeni ise işletmenin üretim kaynaklarına sahip olmadan üretimi tamamlanamayacak olması göze alındığında 1/3 oranlaması kabul görülmüştür.

2. İkili karşılaştırma matrislerinden elde edilen değerler toplam sütun değerleriyle oranlanmış ve normalize karar matrisleri elde edilmiştir. Elde edilen normalize karar matrisinde satır toplamlarının karar değişkeni sayısına bölümü ile öz vektör değerleri bulunmuştur. Elde edilen öz vektörler ile ikili karşılaştırma matrisinin matris çarpımından öz değer değerleri bulunmuştur. Ana kriterlerin normalize karar matrisi ve öz vektör, öz değer değerleri Tablo 7’de verilmiştir.

3. Alt kriterlerin elde edilen öz vektörleri, bulunduğu ana kriterin öz vektör değeri ile çarpılmış ve tüm kriterlerin nihai öz vektör değeri yani ağırlığı bulunmuştur. Kriterlerin ağırlıkları Tablo 8’de belirtildiği gibidir.

4. (n: karar değişkeni sayısı) $\frac{1}{n} * \left(\sum_{n=1}^{16} \frac{\text{özdeğer}_n}{\text{özvektör}_n} \right)$ formülü ile ana kriter ve her alt kriter grubundan en büyük öz değer değeri bulunmuş olup daha sonra $\left(\frac{\text{en büyük özdeğer}}{n} * (n - 1) \right)$ formülünden tutarlılık indeks değeri hesaplanmıştır.

5. “Tutarlılık indeksi / 0,89” formülünden tutarlılık oranı hesaplanmış ve bulunan değerlerle tüm adımlar 0.01’den düşük çıkmıştır bu sayede tutarlı olarak yani güvenilir olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 6. Ana kriter karar matrisi

	Finansal	Kaynakasal	Proje uygulanabilirliği	Sosyal
Finansal	1	3	5	5
Kaynakasal	1/3	1	1	5
Proje uygulanabilirliği	1/5	1	1	3
Sosyal	1/5	1/5	1/3	1
Toplam	1 3/4	5 1/5	7 1/3	14

Tablo 7. Ana kriterlerin normalize karar matrisi ve öz vektör, öz değer değerleri

	Finansal	Kaynakasal	Proje uygulanabilirliği	Sosyal	Özvektör	Öz değer
Finansal	0,58	0,58	0,68	0,36	0,5482	2,3681
Kaynakasal	0,19	0,19	0,14	0,36	0,2195	0,9053
Proje uygulanabilirliği	0,12	0,19	0,14	0,21	0,1646	0,6968
Sosyal	0,12	0,04	0,05	0,07	0,0677	0,2761

Tablo 8. Kriter ağırlıkları

Ana kriterler	Alt kriterler	Ağırlıklar
Finansal	MLY	0,1726
	Kar	0,2902
	CP	0,0576
	ÖB	0,0278
Kaynaksal	HTE	0,1152
	MK	0,0457
	İK	0,0239
	DK	0,0347
Proje uygulanabilirliği	TZ	0,0635
	PS	0,0424
	PY	0,0204
	PK	0,0279
	PÇ	0,0104
Sosyal	Mİ	0,0152
	P	0,0217
	RPA	0,0307

En yüksek kriter ağırlığına sahip kriter kar olmuştur. Bunu sırasıyla maliyet ve hammaddelerin tedarik edilebilirliği kriterleri, yüksek kriter ağırlığına sahip olarak değer almıştır. Kar kriterinin yüksek çıkmasının nedeni her yapılan projenin en temel amaçlarından birinin kar elde etmek olmasıdır. İkinci en yüksek kriter ağırlığına sahip olan maliyet kriteri işletmelerin büyük çoğunluğunun işleyişini sürdürülebilmesi için temel belirleyicilerdendir. Hammaddelerin tedarik edilebilirliği işletmenin alacağı projeyi tamamlaması için gerekli en temel kriterlerden biridir. Hammaddelerin tedariki ne kadar zor olursa işletme nihai hedefinden o kadar uzaklaşır. Bu gereklilikleri uzman ekip göz önüne alarak değerlendirmiş ve yapılan çalışmada bu nihai sonuç elde edilmiştir.

En düşük kriter ağırlığına sahip kriter proje çeşidi olmuştur. Bunu sırasıyla müşteri ilişkisi ve projenin yapılabilirliği kriterleri en düşük ağırlığa sahip olarak değer almıştır. Proje çeşidinin diğer kriterlere göre daha düşük ağırlık değerinde çıkmasının nedeni işletmenin mecburi yapmak zorunda ve temel işleyişi durdurabilecek etkiye diğerlerine oranla daha az sahip oluşudur. Bu kriter işletmenin elinde bulunan projelerle yeni alacağı projeler arasında yoğunluk düzenini ve işletmenin zorlanabilme düzeyini iyileştirmeye çalışan işletme menfaatini güden bir kriterdir. Müşteri ilişkisi bir işletmede büyük önem taşır, diğer kriterle karşılaştırıldığında bu kriter işletmenin çevresel etmeni olan sosyal bir kriterdir. Üretimi iş direkt değil dolaylı yoldan etkilediği için diğer kriterlere kıyasla daha az ağırlık değerine sahip olmuştur. Müşteri ilişkisi, işletmeye uzun vadede kazandıran göz ardı edilmemesi gereken bir kriterdir. Bu gereklilikleri uzman ekip göz önüne alarak değerlendirmiş ve yapılan çalışmada bu nihai sonuç elde edilmiştir.

4.4. Alternatiflerin Belirlenmesi

Proje firmasına gelen altı örnek proje teklifi seçilmiştir. Projelerin farklı sektörlerde, farklı proje sahalarında ve farklı amaçlarda olmasına dikkat edilerek seçim yapılmıştır. Belirlenen alternatif projelerin detayları Tablo 9' da verilmiştir. AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmış olan kriterler kullanılarak TOPSIS yöntemi ile bu altı projenin sıralaması yapılmıştır.

Tablo 9. Belirlenen alternatif projeler ve içerikleri

	Alternatif projeler	Proje içerikleri
Proje-1	İnşaat projesi (İNŞ)	İnşaat projesidir. Firma inşaat projelerinde isteğe bağlı, apart, rezidans, proje yeri binası vb. konut projelerini alabilmektedir.
Proje-2	Petrokimya bakım tesisleri projesi (BKO)	Petrokimya bakım tesisleri projesi, Firmanın almış olduğu bir alt yapı projesidir. Gerek kullanılacak boruların imalatı gerekte zamanı geldiğinde bakımını temin edebildiği bir projedir.
Proje-3	İzolasyon işleri/iç tesisat(veya) projesi (İZTST)	Firmanın almış olduğu bir alt yapı projesidir. Gerek kullanılacak boruların imalatı gerekte zamanı geldiğinde bakımını temin edebildiği bir projedir.
Proje-4	Çelik konstrüksiyon projesi (ÇLKKN)	Firmanın fabrikasında yapılan ve fabrikadaki makinelerle üretilen çelik sektörü projesidir.
Proje-5	Depolama tankları projesi (DEPTNK)	Firmanın fabrikasında yapılan ve fabrikada makinelerle üretilen enerji sektörüne hitap eden bir ürün üretimi projesidir.
Proje-6	Parça üretimi projesi (PARÇÜ)	Firmanın fabrikasında yapılan ve fabrikada makinelerle üretilen genel olarak savunma sanayi sektörüne üretilen ürünlerdir. Firma burada bir yan sanayidir

4.5. Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Belirlenen alternatiflerin değerlendirilmesi Bölüm 3.2.'de verilen TOPSIS algoritmasına göre yapılmıştır. Karar matrisinin oluşturulması için kriterlere birimler belirlenmiştir. Maliyet (Mly) kriteri ve Kar kriteri para birimi ölçütüyle değerlendirilmiştir. Hammadde Tedarik Edilebilirliği (HTE), Ödeme Biçimi (ÖB), Projenin Yapılabilirliği (PY), Proje Çeşidi (PÇ), Proje Karmaşıklığı (PK), Müşteri İlişkisi (Mİ), Proje Prestiji ve Rekabet ve Pazar Analizi (RPA) kriterleri için 1-5 ölçeği kullanılmıştır. Ölçekte 1 çok yetersiz, 2 yetersiz, 3 az yeterli, 4 yeterli, 5 çok yeterli olacak şekildedir. Ceza Payı (CP) ve Dış Kaynak Kullanımı (DK) kriterleri için yüzde olarak ölçeklendirme yapılmıştır. Teslim zamanı (TZ) ve Projenin Yapılacağı Süre (PS) kriterlerinin birimi ay olarak belirtilmiştir. Ölçeklendirme uzman ekip tarafından gerçekleştirilmiştir.

Kriterler kullanılırken maliyet, ceza payı, makine kapasitesi, işçi kapasitesi, dış kaynak kullanımı, projenin karmaşıklığı ve proje çeşidi projenin üstlenicisi tarafından minimize edilmek istenen, kurumunun devamlılığı sağlamsı için belli sınırlar içerisinde tutması gereken kriterlerdir.

Kar, hammadde tedarik edilebilirliği, ödeme biçimi, teslim zamanı, projenin yapılabilirliği, müşteri ilişkisi, prestij, rekabet ve pazar analizi kriterleri projeyi üstlenecek kurum tarafından maksimize edilmek istenen kuruma fayda sağlayan kriterlerdir.

Tablo 10'un oluşturulmasında; sosyal kriterlerden olan prestij kriterine göre alternatiflerin değerlendirilmesinde uzman ekip içerisinde yer alan firma sahibinin anlaşma sağladığı işlerdeki tecrübelerinden faydalanılmıştır. Örneğin petrokimya alanında ve inşaat alanında yaptığı işlerin niteliklerini farklı değerlendirmesi puanlamada etkili olmuştur, Petrokimya endüstrisinin nitelikli olmasından dolayı kurumun isminin daha çok duyulduğu ve prestijine olumlu yönde katkı sağladığı bilgisi ile puanlama yapılmıştır. Buradaki kıyaslamaya benzer şekilde sosyal kriterler uzmanlarca kıyaslanıp puanlandırılmıştır.

Tablo 10. Karar matrisi

Alternatif	MLY	Kar	CP	ÖB	HTE	MK	İK	DKK	TZ	PS	PY	PK	PÇ	Mİ	P	RPA
İNŞ	500000	10000000	5	5	5	1	15	1	18	12	5	1	1	5	3	3
BKO	4000	100000	1	5	4	2	5	1	0,5	0,5	4	5	3	1	1	2
İZTST	4000	20000	1	5	4	3	4	1	0,75	0,75	3	2	3	2	1	1
ÇLKKN	40000	20000	10	3	3	8	20	5	4	3	5	5	1	2	3	3
DEPTNK	90000	1000000	20	2	3	10	40	20	8	6	4	4	2	1	1	1
PARÇÜ	50000	400000	30	2	2	10	25	10	5	4	4	3	1	3	5	3

Denklem 13 ve Denklem 14 kullanılarak her bir alternatifin ideal çözüme olan uzaklıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan uzaklıklar Tablo 11’de verilmiştir. C_i^* ideal sonuca yakınlık değerleri Denklem 15 kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen göreceli uzaklıklar Tablo 12’de gösterilmiştir.

Tablo 11. Pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklık tablosu

Alternatif	S_i^+	S_i^-
İNŞ		0,3417
BKO	0,3428	0,0311
İZTST	0,3446	0,0285
ÇLKKN	0,3344	0,0383
DEPTNK	0,2985	0,0723
PARÇÜ	0,3222	0,0619

Tablo 12. Yakınlık katsayısı C_i^* tablosu

Alternatif	Yakınlık katsayısı C_i^*
İNŞ	1,1993
BKO	-0,0901
İZTST	-0,0997
ÇLKKN	-0,1294
DEPTNK	-0,2380
PARÇÜ	-0,3195

Elde edilen yakınlık katsayıları büyükten küçüğe doğru sıralanır. Proje şirketi için en uygun projeler İnşaat Projeleri (İNŞ) olarak görülmüştür. İnşaat projesi tekliği firmaya diğer projelere göre daha kar getiren ve kolay tedarik edilebilirliği kriterleri puanları sayesinde öne çıkmıştır İkinci uygun proje Petrokimya Bakım Tesisleri Projesinde (BKO) diğer projelere kıyasla işletmeye mal olacağı giderinin düşük, karının maliyete kıyasla daha yüksek olması diğer projeler arasında öne çıkmasını sağlamıştır, üçüncü uygun proje İzolasyon İşleri/İç Tesisat (veya) projesi olarak bulunmuştur İZTST projesinde hammadde tedarik edilebilirliği kriterinin diğer projelere oranla daha yüksek puana sahip olması sıralamasının öne çıkmasını sağlamıştır. İşletmenin en son tercih etmesi gereken projeler sırasıyla Depolama Tankları ve Parça üretimi olarak bulunmuştur. DEPTNK Projesi yüksek ceza payı puanlarıyla projeler arasında sıralamada geriye düşmüştür. PARÇÜ projesi pazar analizi kriterinin yüksek rekabettin oluşturduğu riskle diğer projelere kıyasla tercih edilmemesi gerekmiştir.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada proje seçim problemi ele alınmıştır. Bunun sebebi; kurumların proje seçme aşamasında belirli kriterleri göz önünde bulundurup amaçlarına uyan en iyi projenin seçiminde zorluklar yaşamasıdır. Yapılan bu çalışmada problemin çözülmesi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve TOPSIS kullanılmış olup ilk olarak AHP yöntemi ile kriterler belirlenip ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra TOPSIS yöntemi kullanılarak alternatifler belirlenip değerlendirilmiştir.

PSP’de belirlenen kriterler AHP yöntemi uygulanıp incelendiğinde kurum için en önemli kriterin kar olduğu, ikinci önemli kriterin ise maliyet olduğu görülmektedir. Son sırada yer alan iki kriter ise “Proje Çeşidi” ve “Müşteri İlişkisi” kriterleridir. TOPSIS uygulamasından elde edilen sonuçlara bakıldığında ise ilk sırada “İnşaat Projesi”, ikinci sırada “İzolasyon İşleri/İç Tesisat Projesi” olduğu görülmüştür. En düşük puana sahip proje ise “Depolama Tankları” olarak bulunmuştur. Bu sonucun oluşmasında, alternatiflerin karşılaştırılmasında kullanılan en önemli kriterler olan kar ve maliyet değerlerinin büyük ölçüde katkısı olduğu söylenebilir. Elde edilen bu sonuçlara göre aynı anda gelen bu projelerden, firmanın inşaat projelerini seçmesi en uygunu olacaktır.

Çalışmada yapılmış olan kapsamlı literatür araştırmasından yararlanılarak proje seçim yöntemleri hakkında kapsamlı bir literatür araştırması yapılabilir. Çalışmanın kriterlerinin tüm projelere uygulanabilir olma özeliğinden faydalanarak daha öznel nitelikte oluşturulabilecek bir sektörde yeni çalışmalar yapılabilir. Herhangi bir sektör veya kurumda bu çalışmadan yararlanarak ANP yöntemi ile kriterler ağırlıklandırılıp Bulanık TOPSİS yöntemi ile alternatiflerin seçilmesi sağlanabilir. Bu yöntemlerin yanı sıra çalışma kriterler aralığının kapsayıcılığını göz önünde bulundurulursa; alternatifler VIKOR, Sezgisel Bulanık EDAS yöntemi ile sıralanabilir. Bu projeden yararlanarak 0-1 hedef programlama destekli bütünleşik AHP veya ANP – VIKOR yöntemleri ile PSP üzerine çalışılabilir. Çalışmanın geniş kriter aralığından yararlanarak TOPSIS uygulaması yerine, ELECTRE ve PROMETHEE yöntemleri kullanılarak alternatif seçimi yapılabilir. Bu çalışma, çoğu sektörü ilgilendiren ve kurumlarını geliştirmekte rol alan Proje Seçimi Problemleri ve Yöntemlerinin geleceğe katkı sunmasını destekler nitelikteki çalışmalara kaynak oluşturan devamlılığı sağlanabilir bir çalışmadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışmanın yazılmasında emeği geçen danışman hocamız ve uygulama yapılan kuruma teşekkür ederiz.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Herhangi bir kurum veya kişi arasında çıkar çatışması yazılan makalede bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] N. Ömürbek, Y. Makas, V. Ömürbek, AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Kurumsal Proje Yönetim Yazılımı Seçimi. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 21 (2015) 59-83.
- [2] B. F. Yıldırım, S. Kuzu Yıldırım, Ar-Ge proje seçim süreci için yeni bir entegre sezgisel bulanık grup karar verme yaklaşımı. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10:2 (2022) 643-653.
- [3] K. G. Kurtay, Y. Gökmen, A. Altundaş, H. A. Dağıstanlı, Savunma sanayii projelerinin çok +kriterli karar verme yöntemleriyle önceliklendirilmesi ve karşılaştırılması: karma bir model önerisi. SAVSAD Savunma ve Savaş Araştırmaları Dergisi, 31:1 (2021), 1-24.
- [4] F. Kas Bayrakdaroğlu, N. Kundakçı, Bulanık EDAS yöntemi ile AR-GE projesi seçimi. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, 24 (2019) 151-170.
- [5] Xiaoxia Duan, A sustainability-based multi-criteria decision approach for information systems project selection. The Electronic Journal of Information Systems Evaluation Volume 22 :2 (2019).
- [6] B. Karaman, H. Çerçioğlu, 0-1 hedef programlama destekli bütünleşik AHP – VIKOR yöntemi: hastane yatırımı projeleri seçimi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30: 4 (2015)

- [7] Cheng, W. L Eddie, Li, Heng, Analytic Network Process Applied to Project Selection. *Journal of Construction Engineering and Management*, (2005) 459 – 466.
- [8] M. Hamurcu, H. M. Alağaç, T. Eren, Raylı sistem projelerinin seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımı. *Transist 9. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı*, 2016.
- [9] Gökşen, E. Çevik, Yatırım projelerinin değerlendirilmesinde AHP-VIKOR entegrasyonu ile bir kds önerisi. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 2016 ,7(2), 219-235.
- [10] F. Y. Kalende, F. Aygün, Promethee sıralama yöntemi ile yatırım projesi değerlendirme ve üretim sektöründe uygulanması. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 9:2 (2019) 183-208.
- [11] M. Taş, Ş.N. Özlemiş, M. Hamurcu, T. Eren, Analitik hiyerarşi prosesi ve hedef programlama karma modeli kullanılarak monoray projelerinin seçimi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2:2 (2017) 24-34.
- [12] B. Uçakcıoğlu, T. Eren, Analitik hiyerarşi prosesi ve VIKOR yöntemleri ile hava savunma sanayisinde yatırım projesi seçimi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2:2 (2017) 35-53.
- [13] C.Gencer, Y. Doğan, Projelerin Seçiminde Metodolojik Bir Yaklaşımın DPT Projelerine Uygulanması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5:1 (2003) 55-71.
- [14] Y. Çelikkilek, M. Özdemir, Çok kriterli karar verme yöntemleri, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2018.
- [15] İ. Duzdar Argun, E. Acar, Ar-ge projesi seçim problemi: cam sektöründe bir uygulama. *Endüstri Mühendisliği*, 34:2- (2023) 276-310.
- [16] E. Binici, E. Aksakal, Ar-Ge proje seçim problemine yeni bir yaklaşım ve çözüm önerisi: UTA yöntemi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26:1 (2020) 211-226.
- [17] J. Dodangeh, M. Mojahed, R. B. M. Yusuff, Best project selection by using of Group TOPSIS method. *Computer Science and Information Technology- Spring Conference IACSITSC '09*. 2009
- [18] R. Alyamani, S. Long, The Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process in Sustainable Project Selection. *Sustainability.*; 12:20 (2020) 8314.
- [19] M. Enea, D. Piazza, Project Selection by Constrained Fuzzy AHP. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 3:1 (2004) 39-62
- [20] Khalili-Damghani, Sadi-Nezhad, A hybrid fuzzy multiple criteria group decision making approach for sustainable project selection. *Applied Soft Computing*, 13 (2012) 339–352.
- [21] T. Yakıcı Ayan, T. Yakıcı Ayan, S. Perçin, Ar-Ge projelerinin seçiminde grup kararına dayalı bulanık karar verme yaklaşımı. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 26:2 (2012) 237-255.
- [22] P. Amiri, Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications* 37:9 (2010) 6218-6224.
- [23] A. Yıldız, Bulanık VIKOR Yöntemini Kullanarak Proje Seçim Sürecinin İncelenmesi. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14:1 (2014) 115-127.
- [24] G. Baysal Türkölmez, Yazılım projesi seçim probleminde çok amaçlı optimizasyon uygulaması. *Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 17:1 (2016) 47-63.
- [25] M. Bellahcene, F.-Z. Benamar, M. Mekidiche, AHP and WAFGP hybrid model for information system project selection. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 12:2 (2020).

- [26] Ş. Gür, M. Hamurcu, T. Eren, Ankara’da Monoray projelerinin analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemleri ile seçimi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23:4 (2017) 437-443.
- [27] M. Hamurcu, T. Eren, Raylı Sistem Projeleri Kararında AHS-HP ve AAS-HP Kombinasyonu. GMBD, 3:3 (2017) 1–13.
- [28] A. Mahmoudi, X. Deng, S. Javed, J. Yuan, Large-scale multiple criteria decision-making with missing values: project selection through TOPSIS-OPA. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 12:1 (2021).
- [29] Ö. Yıkıcı, T. Özçelik, Investment project selection with multi criteria decision making techniques in fmcg industry. International Journal of Engineering and Management Research, 13:3 (2023) 116–133.
- [30] M. Hamurcu, T. Eren, Kent içi ulaşım için bulanık AHP tabanlı VIKOR yöntemi ile proje seçimi. Engineering Sciences, 13:3 (2018) 217-228.
- [31] C. Taş, N. Bedir, T. Eren, Hm. Alağaç, AHP-TOPSIS yöntemleri entegrasyonu ile poliklinik değerlendirilmesi: Ankara’da bir uygulama. Sağlık Yönetimi Dergisi, 2:1 (2018) 1-17.
- [32] T.L. Saaty, The analytic hierarchy process, New York, McGraw-Hill, 1980.
- [33] C.L. Hwang, K. Yoon, Multiple attribute decision making: methods and applications. Springer-Verlag, New York.,1982.
- [34] Z. Ercan, M. Pınarbaşı, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Biyogaz Enerji Santrali Kuruluş Yeri Seçimi: Ankara İli Polatlı İlçesi İçin Bir Örnek. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 10:2 (2024) 395-408.
- [35] E. Guven, M. Pınarbaşı, H.M. Alakas, T. Eren, Evaluation of natech criteria in organized industrial zones: An application for Kırıkkale province. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 91 (2024) 105379.
- [36] E. Guven, M. Pınarbaşı, H.M. Alakas, T. Eren, Organize Sanayi Bölgeleri’nin Natech Riskine Göre Değerlendirilmesi: Kocaeli İli İçin Bir Örnek. Resilience, 8:1 (2024) 13-30.



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

Derin Öğrenme ve Chroma Spektrogramlarına Dayalı EKG Sinyallerinin Sınıflandırılması

Classification of ECG Signals Based on Deep Learning and Chroma Spectrograms

Yazar(lar) (Author(s)): Songül AKDAĞ¹, Mehmet Bilal ER²

¹ ORCID ID: 0000-0003-2278-4232

² ORCID ID: 0000-0002-2074-1776

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Akdağ S., Er M.B., "Derin Öğrenme ve Chroma Spektrogramlarına Dayalı EKG Sinyallerinin Sınıflandırılması", ***Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi***, 9(3): 164-175, (2024).

DOI: 10.46578/humder.1540437



Derin Öğrenme ve Chroma Spektrogramlarına Dayalı EKG Sinyallerinin Sınıflandırılması

Songül AKDAĞ^{1,*}, Mehmet Bilal ER²

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, 63050, Haliliye /ŞANLIURFA

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 63050, Haliliye /ŞANLIURFA

Öz

Elektrokardiyografi (EKG), kalbin elektriksel aktivitesini izleyerek ritim ve fonksiyon bozukluklarını tespit etmekte kullanılan, invazif olmayan bir tanı yöntemidir. EKG sinyalleri genellikle düşük genlikli ve karmaşık yapıda olup, bu sinyallerdeki küçük değişiklikler gözle fark edilemeyebilir. Aritmiler, her zaman ciddi olmasa da, kalp hastalığı semptomlarına ve potansiyel olarak tehlikeli durumlara yol açabilir. Yapay zeka, EKG verilerini analiz ederek bu tür kalp hastalıklarının daha hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesine olanak sağlar, böylece klinik kararların desteklenmesine katkıda bulunur. Bu çalışmada, PhysioNet/CinC Challenge 2016 veri seti kullanılarak, Chroma spektrogramları oluşturulmuş ve bu veriler üzerinde altı farklı önceden eğitilmiş ağ modeli test edilmiştir. Modeller, üç farklı doğrulama yöntemi ve altı farklı sınıflandırıcı ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, MobileNet V2 modeli ile Q-DVM sınıflandırıcısının en iyi performansı sergilediğini göstermiştir. Modelimiz, doğruluk (%87,6), duyarlılık (%96,1), kesinlik (%88,9) ve F1 skoru (%92,4) açısından güçlü ve iyi bir performans sergilemiştir.

Classification of ECG Signals Based on Deep Learning and Chroma Spectrograms

Makale Bilgisi

Başvuru: 29/08/2024

Yayın: 31/12/2024

Anahtar Kelimeler

Derin Öğrenme, EKG, Ses ve Sinyal İşleme, Sınıflandırma, Transfer Öğrenme

Keywords

Deep Learning, ECG, Audio and Signal Processing, Classification, Transfer Learning.

Abstract

Electrocardiography (ECG) is a non-invasive diagnostic method used to detect rhythm and function disorders by monitoring the heart's electrical activity. ECG signals, typically low in amplitude and complex, may exhibit subtle changes that are not easily visible. Although arrhythmias are not always severe, they can signal heart disease and lead to dangerous conditions. Artificial intelligence aids in quicker, more accurate detection of heart diseases through ECG data analysis, thus supporting clinical decisions. In this study, Chroma spectrograms were generated using the PhysioNet/CinC Challenge 2016 dataset, and six pre-trained network models were tested. These models were evaluated with three validation methods and six classifiers. The MobileNet V2 model and Q-SVM classifier performed the best, with strong results in accuracy (87.6%), sensitivity (96.1%), precision (88.9%), and F1 score (92.4%).

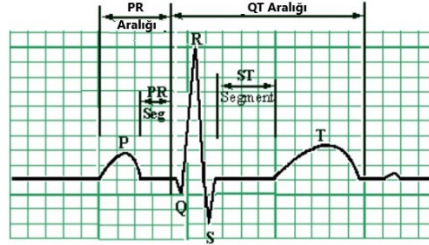
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kardiyovasküler hastalıklar, dünya genelinde en yaygın ölüm nedenleri arasında yer alır, bu nedenle erken teşhis hayati önem taşır. Elektrokardiyografi (EKG), kalbin elektriksel aktivitesini kaydeden ve vücudun farklı noktalarına yerleştirilen elektrotlarla bu aktiviteyi izleyen bir tekniktir. Kaydedilen voltaj-zaman grafiği, kalp fonksiyonlarını analiz etmek için gerekli temel bilgileri sağlar ve kardiyologlar tarafından çeşitli hastalıkları tespit etmek için sıkça kullanılır [1].

EKG'deki bir dalganın ayrıntısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Kalbin bir atımı süresince oluşan elektrik dalgalarıdır. EKG nin temel bileşenleri P Dalgası, QRS kompleksi, T dalgasıdır. Bu dalgalar P, Q, R, S, T

*İletişim yazarı, e-mail: songul.akdag1995@gmail.com

dalgalarından ve çeşitli aralıklardan (PR intervali, QT intervali gibi) oluşur. P dalgası atriyal yani kalp kulakçıklarını temsil ederek kalbin sağ ve sol atriyumlarının kasılmasını sağlar. QRS Kompleksi, ventriküller (karıncıklar) yani kalp karıncıklarının temsil ederek ventriküllerin kasılmasını sağlar. T Dalgası, ventriküllerin repolarizasyonunu yani yeniden yüklenmesine karşılık gelir. Bu dalgaların şekillerini ve belirli aralıkların uzunluklarını inceleyerek kalpteki elektriksel olaylar hakkında bilgi edinilmektedir [2].



Şekil 1. Örnek Bir EKG Dalgası [2]

Elektrokardiyografi (EKG) sinyalleri, kalp ritim bozuklukları, kalp krizi ve elektrolit dengesizlikler gibi ciddi kalp rahatsızlıklarının erken teşhisinde hayati öneme sahiptir. Özellikle bazı aritmi türleri, ani ölümlere yol açarak her yıl dünya genelinde milyonlarca insanın hayatını kaybetmesine neden olmaktadır [3,4]. Yapay zeka ve derin öğrenme, EKG analizi ve kalp hastalıklarının teşhisinde geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı ve doğru sonuçlar sunarak önemli ilerlemeler sağlamıştır [5,6].

Son yıllarda teknolojinin ilerlemesiyle beraber yapay zeka ve derin öğrenme, birçok alanda olduğu gibi sağlık alanında da kullanılmaktadır. Derin öğrenme yöntemleri, çok katmanlı yapıları sayesinde EKG sinyallerini etkili bir şekilde analiz ederek aritmi tespiti ve EKG sinyallerinin sınıflandırılmasında yüksek doğruluk oranlarına ulaşmıştır [7]. Farklı makine öğrenmesi teknikleri ve derin öğrenmedeki yaklaşımlar kullanılarak EKG sinyallerinin sınıflandırılması, aritmi analizleri ve kalp hastalıkları teşhisi gibi konularda çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle, AlexNet ve VGG-16 gibi önceden eğitilmiş derin öğrenme modelleri kullanılarak elde edilen transfer öğrenme yaklaşımları, veri ihtiyacını azaltarak daha az veriyle daha yüksek doğruluk elde edilmesini sağlamakta ve eğitim sürelerini optimize etmektedir [6][8-9].

Son yıllarda yapılan araştırmalar, derin öğrenme modellerinin EKG sinyallerinde aritmi tespitinde etkili olduğunu ve bu modellerin kardiyologlara teşhis süreçlerinde yardımcı olabilecek yazılımlar geliştirilmesinde kullanılabileceğini göstermektedir. EKG sinyallerinin sınıflandırılmasında kullanılan bu yaklaşımlar, kardiyovasküler hastalıkların erken teşhisinde büyük bir potansiyele sahiptir ve bu sayede tedavi süreçlerinde önemli iyileşmeler sağlanabilir [3-4].

Bu çalışmada, EKG sinyalleri chroma spektrogramlarına dönüştürülerek görsel olarak temsil edilmiştir. Aritmi tespiti amacıyla, InceptionNet V3, GoogleNet, MobileNet V2, EfficientNet, AlexNet ve ResNet-50 gibi derin öğrenme algoritmaları incelenmiştir. Çalışmada, öncelikle EKG sinyallerine veri ön işleme uygulanmış, ardından bu sinyallerden çıkarılan özellikler, L-DVM, Q-DVM, C-DVM, K-NN, TA ve LR gibi çeşitli sınıflandırıcılar kullanılarak performans açısından değerlendirilmiştir.

Ancak, önerilen yöntemin bazı sınırlamaları da dikkate alınmalıdır. Chroma spektrogramlarının kullanımı, frekans ve harmonik bilgileri zenginleştirirken sinyallerin diğer bazı özelliklerinin geri planda kalmasına neden olabilir. Buna rağmen, bu durum genel model performansını olumsuz etkilememiş ve elde edilen sonuçlar oldukça başarılı olmuştur. Ayrıca, modern derin öğrenme ağları yüksek hesaplama gücü gerektirse de, bu çalışmada kullanılan veri seti bu gereksinimi karşılamış ve yöntemimizin doğruluk oranlarını artırmada etkili olmuştur. Özellikle transfer öğrenmenin kullanılması, daha az veriyle yüksek performans elde etmemizi sağlamış ve eğitim sürelerini optimize etmiştir. Gelecekte, yöntemin farklı veri setleri ve senaryolar üzerindeki performansını değerlendirmek, yöntemin genellenebilirliğini ve esnekliğini daha da artırabilir.

Önerilen yöntem, EKG sinyallerinin analizi konusunda literatüre, Chroma spektrogramlarının ve transfer öğrenme tekniklerinin etkin kullanımıyla, biyomedikal veri analizi için yeni bir yaklaşım sunarak değerli bir katkı sunmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Clifford ve arkadaşlarının çalışmasında, kısa ve tek kanallı EKG kayıtlarından atriyal fibrilasyon (AF) sınıflandırmasını otomatik olarak gerçekleştirebilecek bir algoritma geliştirilmesi hedeflenmiştir. EKG sinyalleri dört kategoriye ayrılmış ve toplamda 12,186 EKG kaydı kullanılmıştır. Bu kayıtlardan 8,528'i eğitim seti, 3,658'i ise test seti olarak ayrılmıştır. Çalışmada Random Forest, CNN, RNN gibi yöntemler kullanılmış ve 75 yarışmacı katılmıştır. Sonuç olarak, 0.83 F1 puanı ile dört yarışmacı yarışmayı kazanmış ve en başarılı algoritmanın AF'yi tanımlamada en yüksek doğruluk ve güvenilirliği sağladığı belirlenmiştir. Bu çalışma, EKG analiz sistemlerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlamıştır [10].

Benzer bir yaklaşımla, Liang ve arkadaşları, kalp atışını doğru ve verimli bir şekilde sınıflandırmak için iki yöntem kullanmışlardır. İlk yöntemde genetik algoritma (GA) ve makine öğrenimini birleştiren evrimsel bir sinir sistemi yaklaşımı uygulanırken, ikinci yöntemde Evrimsel Sinir Ağı (CNN) ile Çift Yönlü Uzun Kısa Süreli Bellek (BiLSTM) ağı (CNN-BiLSTM) birleştirilmiştir. İlk yöntem, normal sinüs ritmi, AF ve supraventriküler taşiaritmi gibi durumları saptamada üstün performans gösterirken, ikinci yöntem PAC, atriyal flutter ve ventriküler bigemini gibi durumları saptamada üstünlük sağlamıştır. Farklı veri kümeleri üzerinde %80, %82.6 ve %85 doğruluk oranlarına ulaşılmıştır [11].

Bu çalışmaları takip eden Śmigiel ve arkadaşları, PTB-XL veritabanını kullanarak birincil EKG sinyallerinin otomatik sınıflandırılması için üç farklı ağ mimarisi geliştirmişlerdir. Konvolüsyonel ağ, SincNet ağı ve entropi tabanlı özelliklere sahip bir konvolüsyonel ağ gibi farklı mimariler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, entropi özellikli konvolüsyonel ağın iki sınıf için %89.82 ve beş sınıf için %76.5 doğrulukla diğer ağlardan daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur [12].

Benzer bir şekilde, Er'in çalışmasında, EKG sinyallerinin sınıflandırılması için PASCAL ve PhysioNet 2016 veri setleri kullanılmış ve 1D Yerel İkili Örüntü (1D-LBP) ile 1D Yerel Üçlü Örüntü (1D-LTP) teknikleriyle özellik çıkarımı yapılmıştır. ReliefF algoritmasıyla seçilen en önemli özellikler, Tek Boyutlu Evrimsel Sinir Ağı (1D-CNN) modelinde sınıflandırılmış ve PASCAL veri kümesinde %91.66, PhysioNet 2016 veri kümesinde ise %91.78 doğruluk elde edilmiştir [13].

Son olarak, Sattar ve arkadaşları, sayısallaştırılmış CPEIC kardiyak veri seti üzerinde makine öğrenimi ve derin öğrenme teknikleri kullanarak EKG sınıflandırması yapmışlardır. Bu çalışmada, EKG görüntülerinin zaman serisi sinyallerine dönüştürülmesi ve kardiyak sınıfların doğru sınıflandırılması için CNN, LSTM ağı ve oto kodlayıcılarla desteklenen bir SSL tabanlı model kullanılmıştır. CNN modeli, yaklaşık %92 doğruluk oranı ile en yüksek performansı göstermiştir [14].

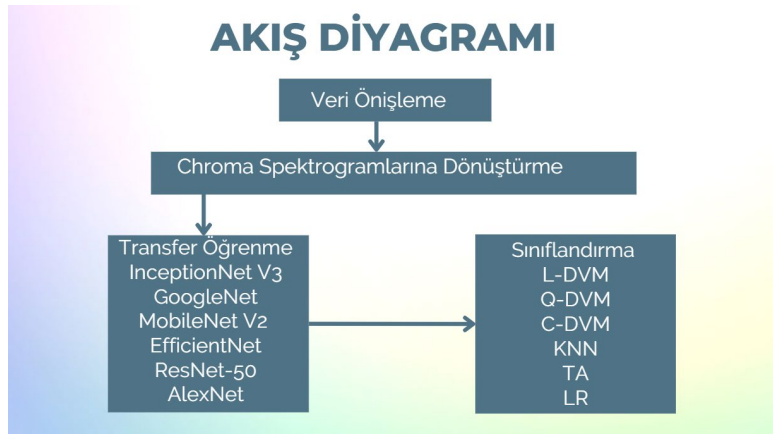
Bu çalışmalar, farklı yöntemlerin EKG sinyallerinin sınıflandırılmasında nasıl kullanıldığını ve hangi yaklaşımların hangi koşullarda üstünlük sağladığını ortaya koymaktadır. Literatürde, EKG sinyallerinin analizleri için çeşitli veri ön işleme yöntemleri ve modelleri kullanılarak birçok araştırma yapılmıştır. Bu analizler, kardiyovasküler sorunların çözümüne yönelik önemli adımlar atılmasını sağlamıştır. Bu çalışmada biz de, PhysioNet/Computing in Cardiology Challenge 2016 veri setini kullanarak, EKG sinyallerinin iki farklı sınıfa ait veri sınıflandırmasını gerçekleştirdik. Sınıflandırma işlemi için Inception Net V3, Google Net, Mobile Net V2, EfficientNet, AlexNet ve ResNet-50 gibi modellerle özellik çıkarımı yapılmış ve bu modeller kullanılarak sınıflandırma gerçekleştirilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada, PhysioNet/CinC Challenge 2016 veri setindeki EKG sinyalleri, frekans bileşenlerini 12 müzikal nota sınıfına indirgemek suretiyle zaman içinde harmonik yapı analizi yapmayı sağlayan Chroma spektrogramlarına dönüştürülmüş ve elde edilen veriler, transfer öğrenme yöntemleri ile az miktarda veriyle hızlı ve etkili şekilde eğitilmiştir. Transfer öğrenmenin, EKG sinyallerinden aritmi tespitinde kullanılması,

veri ihtiyacını azaltarak daha az veriyle daha yüksek doğruluk elde etmemizi sağlamaktadır. Ayrıca, sıfırdan model eğitimi yerine önceden eğitilmiş modellerin kullanılması, eğitim süresini optimize etmektedir. Çalışmada, bu modellerin EKG verilerindeki karmaşık ve ince özellikleri yakalama yetenekleri nedeniyle transfer öğrenme mimarilerinden en yaygın kullanılan InceptionNet V3, GoogLeNet, MobileNet V2, EfficientNet, AlexNet ve ResNet-50 modelleri kullanılmıştır. Bu modeller, EKG sinyallerinin özelliklerini en iyi şekilde öğrenmek üzere optimize edilmiştir ve elde edilen bu özellikler, daha sonra sınıflandırıcı algoritmalara aktarılmıştır. Model performansını değerlendirmek amacıyla 10 kat çapraz doğrulama ile birlikte %70-30 ve %80-20 eğitim/test oranları kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Sınıflandırma aşamasında, altı farklı sınıflandırıcı kullanılmıştır: Lineer Destek Vektör Makineleri (L-DVM), Kuadratik Destek Vektör Makineleri (Q-DVM), Kübik Destek Vektör Makineleri (C-DVM), K-En Yakın Komşu (K-NN), Torbalanmış Ağaçlar (TA) ve Lojistik Regresyon (LR). Bu sınıflandırıcılar, transfer öğrenme ile elde edilen özelliklerin en iyi şekilde değerlendirilmesini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Önerilen yöntemin genel akışını gösteren diyagram ise Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Önerilen Yöntemin Akış Diyagramı.

Önerilen yöntemde, öğrenme katsayısı, epok sayısı ve batch size gibi hiperparametreler, modelin performansını optimize etmek amacıyla dikkatlice seçilmiştir. MATLAB'da 10 kat çapraz doğrulama yöntemiyle model performansı değerlendirilmiş, her adımda veri seti 10 farklı alt kümeye bölünerek eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, %70-30 ve %80-20 eğitim/test oranlarında da tahmin performansı analiz edilmiştir. Öğrenme katsayısı olarak 0.001, epok sayısı olarak 100 ve batch size olarak 64 değerleri kullanılarak, modelin doğruluğu ve eğitim süresi optimize edilmiştir.

3.1. Veri Seti

Bu çalışmada The PhysioNet/Computing in Cardiology Challenge (CinC) 2016 veri seti kullanılmıştır. PhysioNet/CinC Challenge 2016 veri seti kalp seslerini içeren çeşitli kalp ses kayıtlarından oluşmakta olup halka açık veri setidir. Toplamda 1.072 denekten alınan 233.512 adet kayıt bulunmaktadır. Kayıtların süreleri birkaç saniye ile birkaç dakika arasında değişiklik göstermektedir. Kayıtlar normal, anormal veya değerlendirilmesi mümkün olmayan (gürültülü/belirsiz) olarak sınıflandırmak için kullanılır [15].

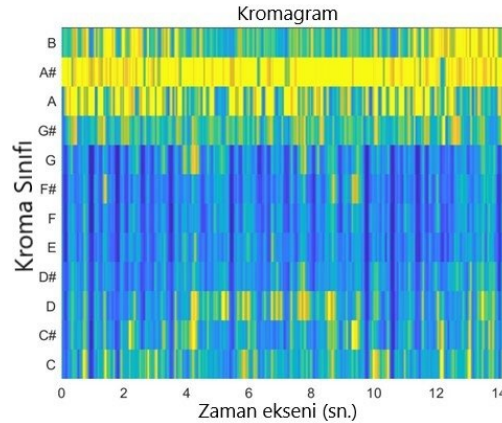
Veri setinin içeriğinde bulunan veri tabanları içerisindeki veri sayıları Şekil 3'de verilmiştir.

VERİ SETİ		
Veri	Normal	Anormal
Training-a	117	292
Training-b	386	104
Training-c	7	24
Training-d	27	28
Training-e	1958	183
Training-f	80	34
Toplam	2578	665

Şekil 3. PhysioNet/CinC Challenge 2016 Veri Seti

Bu çalışma, MATLAB R2023a kullanılarak geliştirilmiştir ve PhysioNet/CinC Challenge 2016 veri seti kullanılmıştır. Veri seti, Training-a, Training-b, Training-c, Training-d, Training-e ve Training-f olmak üzere altı farklı sınıfa ayrılmış toplam 3240 veriden oluşmaktadır. Her veri seti, normal ve anormal olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Çalışmada, 2380 normal ve 665 anormal veri olmak üzere toplamda 3045 veri kullanılmıştır.

PhysioNet/CinC Challenge 2016 veri setinde bulunan EKG ses sinyalleri MATLAB R2023a kullanılarak okundu ve bu sinyallerin Chroma spektrogramları elde edilerek görsel formata dönüştürüldü. 00009 numaralı hastaya ait EKG ses sinyalinin Chroma spektrogram örneği Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 00009 Numaralı Ses Sinyalinin Chroma Spektrogramı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, derin öğrenme teknikleri kullanılarak EKG verilerinin sınıflandırılması gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla, Transfer Öğrenme yöntemi uygulanarak MATLAB ortamında EKG sinyallerinden Chroma spektrogramları elde edilmektedir. Elde edilen Chroma spektrogramları, iki sınıfa ayrılmış verileri temsil etmektedir: normal ve anormal (aritmi). Elde edilen spektrogramlardan özellik çıkarımı; InceptionNet V3, GoogleNet, MobileNet V2, EfficientNet, AlexNet ve ResNet-50 gibi çeşitli transfer öğrenme modelleri kullanılarak yapılmaktadır. Her biri için ayrı ayrı özellikler çıkarıldı. Bu sayede, EKG sinyallerinin doğru bir şekilde sınıflandırılabilmesi amacıyla transfer öğrenme modellerinden elde edilen anlamlı özellikler kullanılmaktadır.

Her bir model için elde edilen öznelilikler, sınıflandırma işlemini gerçekleştirmek amacıyla transfer öğrenme modellerinin tam bağlı (fully connected, FC) katmanından çıkarılmıştır. Bu özellikler, EKG sinyallerinin frekans ve zamansal yapılarını en iyi şekilde temsil etmek için özenle seçilmiştir ve sinyaldeki

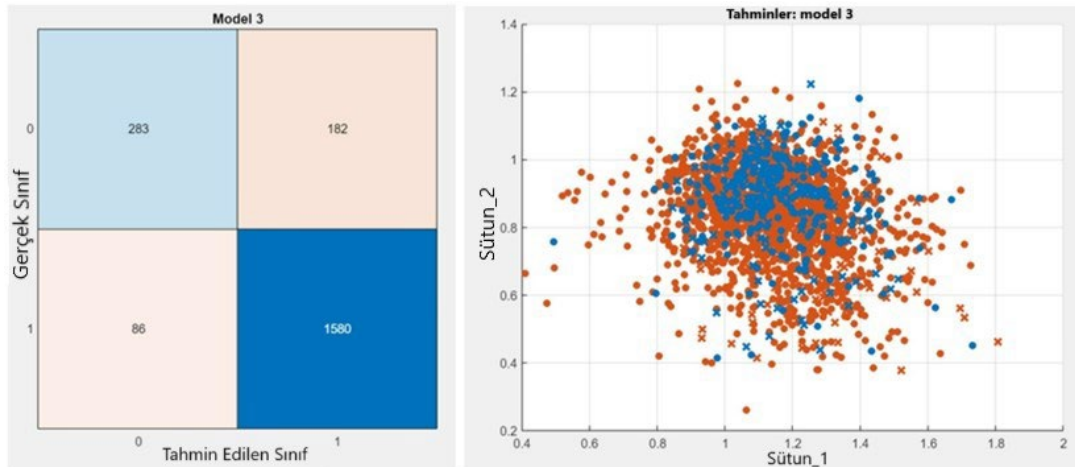
ince farklılıkları ayırt etmede önemli rol oynamaktadır. Bu katmanda elde edilen özellikler, çalışmada kullandığımız sınıflandırma algoritmalarına girdi olarak kullanılmak üzere veriyi 10 kat çapraz doğrulama, %70 eğitim - %30 test ve %80 eğitim - %20 test veri bölünmeleri ile test edilmiştir. Çapraz doğrulama, modelin genel performansını artırmak ve aşırı öğrenme riskini azaltmak için kritik bir strateji olarak tercih edilmiştir.

Inception V3, GoogleNet, MobileNet V2, EfficientNet, AlexNet ve ResNet-50 modellerine ait 10 katlı çapraz doğrulama ile sınıflandırma performansları Tablo 1’de gösterilmiştir. 10 katlı çapraz doğrulamada, %87.4 doğruluk ile en iyi sonucu EfficientNet modelinde Q-SVM sınıflandırıcısından elde edilmiştir. EfficientNet’in bu performansı, parametre sayısını optimize ederken modelin kapasitesini maksimize etme stratejisine dayanmaktadır. Sınıflandırıcı performansları değerlendirildiğinde ise en iyi sonucun Q-SVM ile alındığı gözlemlenmiştir. Q-SVM’in yüksek genelleme yeteneği, özellikle küçük veri kümeleriyle çalışırken büyük avantaj sağlamış ve bu sınıflandırıcının diğerlerine göre üstün olmasına yol açmıştır.

Tablo 1. 10- kat Çapraz Doğrulama Sonuçları

Metod	Performans Değerleri					
	InceptionNet V3	GoogLeNet	MobileNet V2	EfficientNet	AlexNet	ResNet 50
L-DVM	% 84	%84.9	%84.8	%86.7	%85.3	%85.3
Q-DVM	%84.5	%85.8	%86.4	%87.4	%86.9	%87.2
C-DVM	%83.4	%83.2	%86	%86.4	%85.9	%86.3
K-NN	%81.4	%82.6	%84.1	%85.1	%84.4	%84.6
TA	%81.3	%82.7	%84	%84.8	%83.5	%83.9
LR	%81.7	%81.9	%84.1	%84.6	%84.2	%83.8

10 katlı çapraz doğrulamada, %87.4 doğruluk ile en iyi sonucu EfficientNet modelinde Q-DVM sınıflandırıcısından elde edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. EfficientNet - Q-DVM Modeline Ait Karışıklık Matrisi ve Dağılım Grafiği

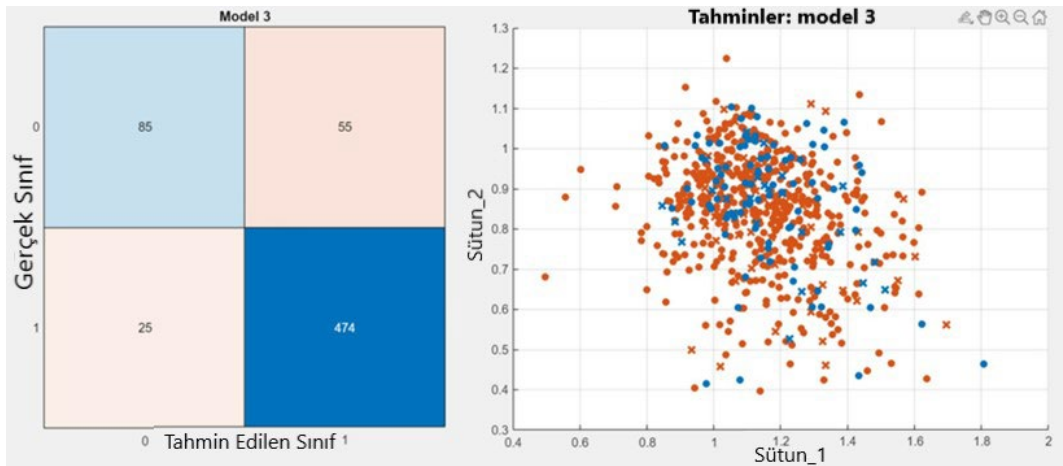
Inception V3, GoogleNet, MobileNet V2, EfficientNet, AlexNet ve ResNet-50 modellerine ait %70-%30 eğitim ve test verisi için sınıflandırma performansları Tablo 2’de gösterilmiştir. %70-%30 veri ayırımında gerçekleştirilen deneylerde, %87.5 doğruluk oranı ile en iyi sonuç EfficientNet modelinde Q-SVM sınıflandırıcısı kullanılarak elde edilmiştir. Bu sonuç, modelin yüksek performans gösterdiğini ve özellikle Q-SVM sınıflandırıcısının etkili bir şekilde çalıştığını ortaya koymaktadır. Sınıflandırıcı performansları genel olarak değerlendirildiğinde, Q-SVM’in diğer sınıflandırıcılara göre daha başarılı olduğu

gözlemlenmiştir. Bu deneyin ardından, MobileNet modelinde C-SVM sınıflandırıcısı kullanılarak %87.3 doğruluk oranı elde edilmiştir. MobileNet ve C-SVM kombinasyonu, yüksek bir performans sergilemiş ancak Q-SVM ve EfficientNet çiftinin gerisinde kalmıştır. Bu sonuçlar, farklı modeller ve sınıflandırıcılar arasında yapılan karşılaştırmalarda, Q-SVM'in genelde daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 2. Eğitim ve Test Veri Seti için Doğrulama Sonuçları (%70 Eğitim - %30 Test Ayrımı)

Metod	Performans Değerleri				AlexNet	ResNet 50
	InceptionNet V3	GoogLeNet	MobileNet V2	EfficientNet		
L-DVM	%83.6	%85.6	%85	%86.7	%82.8	%84.3
Q-DVM	%84.7	%84.2	%86.7	%87.5	%85.1	%84.9
C-DVM	%83.7	%81.1	%87.3	%85	%84.7	%82.6
K-NN	%81.2	%80.06	%83.4	%83.4	%83.4	%84.1
TA	%79.2	%80.04	%82.5	%83.1	%83.4	%82.9
LR	%80.9	%81.5	%83.3	%82.5	%83.4	%82.9

%70 - %30 eğitim-test veri ayırımında yapılan doğrulamada, %87.5 doğruluk ile en iyi sonuç EfficientNet modelinde Q-DVM sınıflandırıcısıyla elde edilmiştir (Şekil 6.).



Şekil 6. EfficientNet - Q-DVM Modeline Ait Karışıklık Matrisi ve Dağılım Grafiği

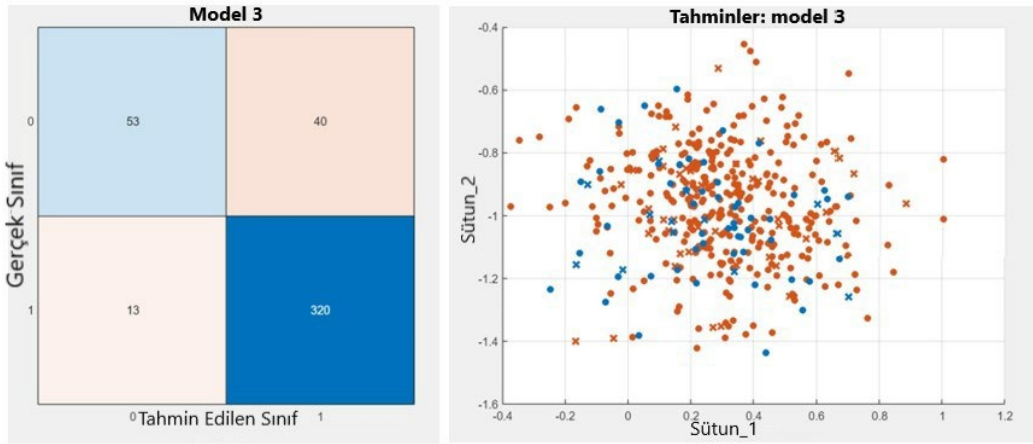
Inception V3, Google Net, Mobile Net V2, EfficientNet, AlexNet ve ResNet-50 modellerine ait %80-%20 eğitim ve test verisi için sınıflandırma performansları Tablo 3' de gösterilmiştir. %80-%20 veri ayırımında, %87.6 doğruluk ile en iyi sonuç MobileNet modelinde Q-DVM sınıflandırıcısı kullanılarak elde edilmiştir. Sınıflandırıcı performansları değerlendirildiğinde ise en iyi sonucun Q-DVM ile alındığı gözlemlenmiştir.

MobileNet V2 modeli ve Q-SVM sınıflandırıcısı kullanılarak yapılan deneylerde, en iyi sonuç %80-%20 veri ayırımında %87.6 doğruluk oranı ile elde edilmiştir. Bu, modelin genel veri seti üzerinde yüksek doğrulukla çalıştığını ve Q-SVM sınıflandırıcısının bu modelle etkili bir şekilde bütünleştiğini göstermektedir. MobileNet V2'nin diğer modeller ve sınıflandırıcılarla yapılan karşılaştırmalarda üstün performans sergilemesi, güçlü genelleme yeteneğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, Q-SVM modelinin bu veri seti üzerinde hızlı ve etkili bir şekilde çalıştığı görülmüştür. QDVM modelinin daha iyi sonuçlar vermesi, veri uzayındaki sınırlı örneklerin ayırımı daha iyi optimize etmesi ve düşük boyutlu veri setlerinde daha etkili olmasıdır.

Tablo 3. Eğitim ve Test Veri Seti için Doğrulama Sonuçları (%80 Eğitim - %20 Test Ayrımı)

Metod	Performans Değerleri				AlexNet	ResNet 50
	InceptionNet V3	GoogLeNet	MobileNet V2	EfficientNet		
L-DVM	% 83.8	%85.2	%86.2	%84.7	%84.7	%84.6
Q-DVM	%84.3	%85.9	%87.6	%87.1	%87.3	%85.8
C-DVM	%84.3	%84.3	%86.4	%83.6	%85.4	%84.7
K-NN	%82.4	%82.6	%84.7	%84.5	%83.6	%83.9
TA	%81	%82.6	%85.2	%84	%83.8	%84.2
LR	%81.5	%83.3	%85.4	%81.5	%84.3	%83

Modelin performansını değerlendiren karışıklık matrisi ve tahmin performansı grafiklerinde, doğru tahminler kırmızı dairelerle, yanlış tahminler ise mavi çarpımlarla gösterilmiştir; bu da modelin genel olarak iyi bir performans gösterdiğini ortaya koymaktadır (Şekil 7). Matrisin sağ alt köşesinde yer alan 320, modelin 1 sınıfını doğru bir şekilde tahmin ettiği örneklerin sayısını (true positive) göstermektedir; bu da modelin pozitif sınıflandırmalarda oldukça başarılı olduğunu bizlere göstermektedir. Bununla birlikte, sol üst köşede 53 doğru negatif (true negative) tahmin bulunmakta, yani model 0 sınıfını da belirli bir oranda doğru tespit etmiştir. Ancak, sağ üst köşede modelin 40 örneği yanlış pozitif (false positive) olarak sınıflandırdığı, yani aslında 0 olan örnekleri 1 olarak tahmin ettiği görülmektedir. Aynı şekilde, sol alt köşede 13 yanlış negatif (false negative) tahmin, yani aslında 1 olan örneklerin 0 olarak tahmin edildiği durumlar bulunmaktadır. Bu matrise göre, model 1 sınıfında başarılı olmasına rağmen 0 sınıfını tanımada bazı zorluklar yaşamaktadır. Genel olarak model, pozitif sınıfların tespitinde iyi performans gösterse de, negatif sınıfların doğru bir şekilde sınıflandırılmasında iyileştirmeye ihtiyaç duyabilir.

**Şekil 7.** MobileNet V2 - Q-DVM Modeline Ait Karışıklık Matrisi ve Dağılım Grafiği

Farklı çalışmaların ve elde edilen sonuçların, çeşitli değerlendirme kriterlerine göre karşılaştırılması yapılmış ve sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur. Tabloda farklı araştırma çalışmalarının doğruluk oranlarını ve kullanılan yöntemleri karşılaştırılmaktadır.

Tablo 4. Önerilen Yöntemim Önceki Çalışmalar ile Karşılaştırılması

Yazar(lar)	Model/Yöntem	Veri Seti	Başarı Oranı (Accuracy)
Clifford et al., (2016) [16]	AdaBoost & CNN	PhysioNet/CinC Challenge 2016	% 86.02
Grzegorzcyk ve ark. (2016) [17]	Sinir ağı (NN)	PhysioNet/CinC Challenge 2016	% 78.9
Rubin ve ark. (2016) [18]	Convolutional Neural Networks (CNN) ve Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC)	PhysioNet/CinC Challenge 2016	Faz I: %88, Faz II: %84.8
Nilanon ve ark. (2016) [19]	Convolutional Neural Networks (CNN) ve Mel-frequency cepstrum coefficients (MFCCs)	PhysioNet/CinC Challenge 2016	%81.3
Noman ve ark. (2019) [20]	1D-CNN (bir boyutlu Convolutional Neural Network) ve 2D-CNN (iki boyutlu Convolutional Neural Network), TF-ECNN	PhysioNet/CinC Challenge 2016	%89.22
Bouril ve ark. (2019) [21]	Support Vector Machines (SVM)	PhysioNet/CinC Challenge 2016	Faz I: %78 Faz II :%78.64
Önerilen Yöntem	Mobile Net V2	PhysioNet/CinC Challenge 2016	%87.6

Clifford ve arkadaşları (2016), AdaBoost ve CNN kombinasyonu %86.02 doğruluk sağlamıştır. Bu yöntem, klasik makine öğrenme yöntemleri ile derin öğrenme tekniklerini birleştirerek başarılı sonuçlar elde etmiş olsa da, Chroma spektrogramları gibi zengin frekans temsili sağlamadığından doğruluk oranı bizim çalışmamızdan daha düşük kalmıştır.

Grzegorzcyk ve arkadaşları (2016), Temel sinir ağları (NN) ile %78.9 doğruluk elde edilmiştir. Bu düşük sonuç, kullanılan sinir ağlarının daha basit ve yetersiz özellik çıkarma kapasitesinden kaynaklanmaktadır, oysa bizim çalışmamızda Chroma spektrogramları ve daha gelişmiş derin öğrenme ağları kullanılmıştır.

Rubin ve arkadaşları (2016), CNN ve MFCC kullanılarak %84.8 doğruluk elde edilmiştir. MFCC, EKG gibi karmaşık sinyallerin frekans ve harmonik özelliklerini tam olarak temsil edemediğinden, Chroma spektrogramlarına kıyasla daha düşük performans göstermiştir.

Nilanon ve arkadaşları (2016), CNN ve MFCC kullanarak %81.3 doğruluk sağlamışlardır. Yine MFCC'nin sınırlı frekans temsili, Chroma spektrogramlarının sunduğu daha geniş frekans ve harmonik yapı temsiline kıyasla yetersiz kalmıştır.

Noman ve arkadaşları (2019), 1D-CNN ve 2D-CNN ile %89.22 doğruluk elde edilmiştir. Bu yüksek doğruluk, daha karmaşık CNN mimarilerinin kullanılmasından kaynaklanmaktadır, ancak bizim çalışmamızda önceden eğitilmiş modeller, genel performansı optimize etmekte ve eğitim süresini kısaltmaktadır.

Bouril ve arkadaşları (2019), SVM kullanarak %78 doğruluk sağlamışlardır. SVM, doğrusal olmayan sınıflandırma görevlerinde iyi sonuçlar verse de, derin öğrenme modellerinin sunduğu daha güçlü özellik çıkarma kapasitesine sahip değildir.

Kısaca, tabloya göre birçok yöntem önerilen yöntemimizle kıyaslanabilir bir performans sergilemiştir. Bununla birlikte, bazı durumlarda bizim yöntemimiz, diğer yaklaşımlardan daha üstün sonuçlar elde etmiştir. Bu karşılaştırmalar, yapılan çalışmanın başarısını ve önerilen yöntemin diğer yaklaşımlara göre avantajlarını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Chroma spektrogramlarının ve modern derin öğrenme ağlarının kullanılması, modelimizin performansını artırmada kritik bir rol oynamıştır ve bu da yapılan çalışmanın doğruluk oranlarına olumlu bir katkı sağlamıştır.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, derin öğrenme ve transfer öğrenme yöntemleri kullanılarak EKG sinyallerinden aritmi tespiti yapılmıştır. Çalışma, derin öğrenme modellerinin EKG verilerini sınıflandırmada yüksek doğruluk sağladığını ve bu modellerin klinik ortamlarda güvenilir tanı araçları olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, bu modellerin sadece akademik başarıyla sınırlı kalmayıp, gerçek dünya uygulamalarında da etkili olabileceğini ortaya koymaktadır.

Transfer öğrenme tekniklerinin uygulanmasıyla, önceden eğitilmiş modellerin yeni veri setlerine uyarlanması sayesinde hem sınıflandırma performansı artırılmış hem de modelin eğitim süresi önemli ölçüde kısaltılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, kalpteki ritim bozukluklarının tespitinde uzman kişilerin hızlı ve doğru teşhis koymasına yardımcı olabilecek etkili araçlar sunmaktadır. Ancak, modellerin güvenilirliğini artırmak için daha büyük ve çeşitli veri setleri üzerinde çalışmalar yapılması önerilmektedir. Gelecekteki araştırmalar, bu modellerin geniş kapsamlı olarak gerçek hayatta uygulanabilirliğinin test edilmesine ve klinik pratikteki kullanım alanlarının genişletilmesine odaklanmalıdır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma 22219 no'lu proje olarak HÜBAK tarafından desteklenmiştir.

Not: Bu makale, yüksek lisans tez çalışmasından elde edilen bulgulara dayanmaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Vikipedi yazarları, "Elektrokardiyografi," Vikipedi, Özgür Ansiklopedi. Erişim tarihi: 29 Mayıs 2024. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektrokardiyografi#:~:text=Elektrokardiyografi%20\(EKG\)%2C%20kalp%20kas%C4%B1n%C4%B1n,kullan%C4%B1lan%20alete%20de%20elektrokardiyograf%20denir.](https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektrokardiyografi#:~:text=Elektrokardiyografi%20(EKG)%2C%20kalp%20kas%C4%B1n%C4%B1n,kullan%C4%B1lan%20alete%20de%20elektrokardiyograf%20denir.)
- [2] A. Alpman, "Elektrokardiyogram (EKG)," Ahmet Alpman. Erişim tarihi: 6 Ağustos 2024. [https://ahmetalpman.com/elektrokardiyogram-ekg/.](https://ahmetalpman.com/elektrokardiyogram-ekg/)
- [3] Y. Ansari, O. Mourad, K. Qaraqe, ve E. Serpedin, "Deep learning for ECG arrhythmia detection and classification: an overview of progress for period 2017–2023," *Frontiers in Physiology*, 14 (2023) 1246746.
- [4] Q. Xiao, K. Lee, S. A. Mokhtar, I. Ismail, A. L. B. M. Pauzi, Q. Zhang, ve P. Y. Lim, "Deep learning-based ECG arrhythmia classification: A systematic review," *Applied Sciences*, 13:8 (2023) 4964.

- [5] N. Katal, S. Gupta, P. Verma, ve B. Sharma, "Deep-learning-based arrhythmia detection using ECG signals: A comparative study and performance evaluation," *Diagnostics*, 13: 24 (2023) 3605.
- [6] Mohebbanaaz, L. R. Kumar, ve Y. P. Sai, "A new transfer learning approach to detect cardiac arrhythmia from ECG signals," *Signal, Image and Video Processing*, cilt. 16: 7 (2022) 1945-1953.
- [7] P. N. Singh ve R. P. Mahapatra, "A novel deep learning approach for arrhythmia prediction on ECG classification using recurrent CNN with GWO," *International Journal of Information Technology*, 16:1 (2024) 577-585.
- [8] M. B. Er ve I. B. Aydilek, "Music emotion recognition by using chroma spectrogram and deep visual features," *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 12:2 (2019) 1622–1634. <https://doi.org/10.2991/ijcis.d.191216.001>.
- [9] M. B. Er, "A novel approach for classification of speech emotions based on deep and acoustic features," *IEEE Access*, 8 (2020) 221640-221651. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3043201>.
- [10] G. D. Clifford, C. Liu, B. Moody, H. L. Li-wei, I. Silva, Q. Li, ... ve R. G. Mark, "AF classification from a short single lead ECG recording: The PhysioNet/computing in cardiology challenge 2017," *2017 Computing in Cardiology (CinC)*, ss. 1-4, Eylül 2017.
- [11] Y. Liang, S. Yin, Q. Tang, Z. Zheng, M. Elgendi, ve Z. Chen, "Deep learning algorithm classifies heartbeat events based on electrocardiogram signals," *Frontiers in Physiology*, 11 (2020) 569050.
- [12] S. Śmigiel, K. Pałczyński, ve D. Ledziński, "ECG signal classification using deep learning techniques based on the PTB-XL dataset," *Entropy*, 23:9 (2021) 1121.
- [13] M. B. Er, "Heart sounds classification using convolutional neural network with 1D-local binary pattern and 1D-local ternary pattern features," *Applied Acoustics*, 180 (2021) 108152.
- [14] S. Sattar, R. Mumtaz, M. Qadir, S. Mumtaz, M. A. Khan, T. De Waele, ... ve A. Shahid, "Cardiac arrhythmia classification using advanced deep learning techniques on digitized ECG datasets," *Sensors*, 24:8 (2024) 2484.
- [15] C. Liu, D. Springer, B. Moody, I. Silva, A. Johnson, M. Samieinasab, ... ve G. D. Clifford, "Classification of heart sound recordings-the PhysioNet computing in cardiology challenge 2016," *PhysioNet*, 2016.
- [16] G. D. Clifford, C. Liu, B. Moody, D. Springer, I. Silva, Q. Li, ... ve R. G. Mark, "Classification of normal/abnormal heart sound recordings: The PhysioNet/Computing in Cardiology Challenge 2016," *2016 Computing in Cardiology Conference (CinC)*, ss. 609-612, Eylül 2016.
- [17] I. Grzegorzcyk, M. Soliński, M. Łeppek, A. Perka, J. Rosiński, J. Rymko, ... ve J. Gierałtowski, "PCG classification using a neural network approach," *2016 Computing in Cardiology Conference (CinC)*, ss. 1129-1132, Eylül 2016.
- [18] J. Rubin, R. Abreu, A. Ganguli, S. Nelaturi, I. Matei, ve K. Sricharan, "Classifying heart sound recordings using deep convolutional neural networks and mel-frequency cepstral coefficients," *2016 Computing in Cardiology Conference (CinC)*, 813-816, Eylül 2016.
- [19] T. Nilanon, J. Yao, J. Hao, S. Purushotham, ve Y. Liu, "Normal/abnormal heart sound recordings classification using convolutional neural network," *2016 Computing in Cardiology Conference (CinC)*, ss. 585-588, Eylül 2016.
- [20] F. Noman, C. M. Ting, S. H. Salleh, ve H. Ombao, "Short-segment heart sound classification using an ensemble of deep convolutional neural networks," *ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, ss. 1318-1322, Mayıs 2019.

- [21] A. Bouril, D. Aleinikava, M. S. Guillem, ve G. M. Mirsky, "Automated classification of normal and abnormal heart sounds using support vector machines," 2016 Computing in Cardiology Conference (CinC), ss. 549-552, Eylül 2016.



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

Kısa Mesafeli Kablosuz Haberleşmelerde Li-Fi Teknolojisi Kullanımı

Implementation of Li-Fi Technology in Short-Range Wireless Communications

Yazar(lar) (Author(s)): Hamdi YILMAZ¹, Ayhan GÜLTEKİN²

¹ ORCID ID: 0000-0002-1119-5486

² ORCID ID: 0000-0003-4311-4780

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Yılmaz H., Gültekin A., "Kısa Mesafeli Kablosuz Haberleşmelerde Li-Fi Teknolojisi Kullanımı ", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 9(3): 176-186, (2024).

DOI: 10.46578/humder.1575031



Kısa Mesafeli Kablosuz Haberleşmelerde Li-Fi Teknolojisi Kullanımı

Hamdi YILMAZ¹, Ayhan GÜLTEKİN^{2,*}

^{1,2}Kocaeli Üniversitesi, Öğrenci İşleri Daire Başkanlığı, 41001, İzmit/KOCAELİ

Öz

Li-Fi (Light Fidelity), görünür ışık spektrumunu kullanarak veri iletimini, Wi-Fi (Wireless Fidelity) teknolojisine göre daha hızlı gerçekleştiren kablosuz haberleşme teknolojisidir. Li-Fi, Wi-Fi teknolojisindeki yetersiz bant genişliği ve frekans kapasitesi gibi sorunlara önemli oranda çözüm getirmektedir. Li-Fi, radyo dalgaları yerine ışık dalgalarını kullanır. Li-Fi teknolojisinde, LED (Light Emitting Diode)'lerin çok hızlı bir biçimde kapanıp açılması ve üzerine düşen sinyalleri ışığa çevirmesi ile veri iletimi gerçekleştirilir. Li-Fi'nin daha fazla bant genişliği sunmasındaki önemli etkenlerden birisi de Li-Fi içerisinde görünür ışık kaynağı ile ultraviyole ve kızılötesi ışık dalgalarının da kullanılabilmesidir. Bu çalışmada, her iki tarafta Li-Fi devreleri kullanılan bilgisayarlar arasında ışık dalgaları ile kısa mesafede kablosuz veri iletişimi gerçekleştirilmiştir. Veri aktarımı için hem XMODEM hem de ZMODEM dosya transfer protokolleri uygulanmıştır. Farklı baud hızlarında ve farklı büyüklüklerde dosya transferleri için XMODEM ve ZMODEM protokolleri kullanılarak performans analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda alınan sonuçlara göre, Li-Fi uygulaması içerisinde kullanılan ZMODEM protokolünün, XMODEM protokolüne göre daha verimli olduğu görülmüştür.

Makale Bilgisi

Başvuru: 28/10/2024

Yayın: 31/12/2024

Anahtar Kelimeler

Görünür Işık İletişimi,
Kablosuz Veri İletimi,
Li-Fi,
Xmodem,
Zmodem

Keywords

Li-Fi,
Visible Light
Communication,
Wireless Data
Transmission,
Xmodem,
Zmodem

Implementation of Li-Fi Technology in Short-Range Wireless Communications

Abstract

Li-Fi (Light Fidelity) is a wireless communication technology that uses the visible light spectrum to transmit data faster than Wi-Fi (Wireless Fidelity). Li-Fi solves problems such as insufficient bandwidth and frequency capacity in Wi-Fi technology. Li-Fi uses light waves rather than radio waves. Data transmission in Li-Fi technology occurs by rapidly switching on and off the LEDs (Light Emitting Diodes) and converting the signals received into light. One of the critical factors enabling Li-Fi to offer wider bandwidth is its ability to use ultraviolet and infrared light waves in addition to visible light. In this study, wireless data communication between computers was carried out using light waves through Li-Fi circuits on both sides. Both XMODEM and ZMODEM file transfer protocols were applied for data transfer. Performance analyses were conducted for file transfers of various sizes and at different baud rates using XMODEM and ZMODEM protocols. The study's findings revealed that the ZMODEM protocol utilized in the Li-Fi application demonstrated more efficiency than the XMODEM protocol.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüz dünyasında kablosuz haberleşme ile iletişim kuran cihaz sayısı ve bu cihazların talep ettiği bant genişliği miktarı önemli oranda artmıştır. Yaygın bir kullanım alanı olan Wi-Fi teknolojisi bu talebi karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Wi-Fi, alt yapısı itibari ile radyo dalgalarını kullanmaktadır. Radyo dalgalarının frekans spektrumu sınırlı olduğundan, aynı kaynak üzerinden paylaşım yapan cihaz ve uygulamalar arasında haberleşme sorunları oluşabilmektedir. Özellikle bant genişliği ve kapasite sorunlarına yeni ve güçlü bir alternatif geliştirmek için bilim dünyasında çok yönlü araştırmalar

*İletişim yazarı, e-mail: ayhan.gultekin@kocaeli.edu.tr

yapılmaktadır. Bu alternatiflerden birisi de Görünür Işık İletişimi (VLC -Visible Light Communication)'dir. Edinburg Üniversitesi'nden Alman fizikçi Prof. Harold Haas tarafından 2011 yılında VLC tabanlı Li-Fi teknolojisi tanıtılmıştır [1].

Li-Fi veri iletimi için insan gözüyle fark edilmeyecek kadar hızlı bir şekilde açılıp kapanan LED ışık kaynaklarını kullanmaktadır. Li-Fi, VLC altyapısını kullanarak çok yüksek oranda bant genişliği ve kapasite imkânı sunmaktadır. Li-Fi veri iletişiminde ışık dalgaları kullandığı için iletişimde elektromanyetik dalgalardan etkilenmez.

Li-Fi, güvenlik yönünden Wi-Fi kullanılmasının sakıncalı olduğu çok farklı alanlarda kullanılabilir. Tehlikeli kimyasal üretim yapan sanayi tesislerinde, uçaklarda, madenlerde, hastanelerde ve sualtı araştırmaları gibi daha birçok alanda Li-Fi teknolojisinden faydalanılması mümkündür. Li-Fi, güvenlik, kapasite, kullanılabilirlik, alt yapı maliyeti ve özellikle hız açısından Wi-Fi'ye göre önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak ışığın doğası gereği duvar gibi engelleri aşamaması, ışık kaynağı ile alıcı cihaz arasında doğrudan görüş alanının olma zorunluluğu, güneş ışığı ve diğer doğal kaynaklardan gelen ışıkların iletişimde parazit oluşturabilmesi ve ışık şiddetinin yetersiz olduğu ortamlarda iletişimde sorun çıkması gibi durumlar, Li-Fi kullanımı için dezavantaj oluşturmaktadır. Li-Fi'nin Wi-Fi'ye göre çok daha fazla hızlarda veri iletimi sağlaması sebebiyle Li-Fi teknolojisini geliştirmek, yaygınlaştırmak ve dezavantajlı durumlarına çözüm getirebilmek için yoğun bilimsel çalışmalar devam etmektedir. Tablo 1'de Li-Fi ve Wi-Fi'nin detaylı karşılaştırmasına yer verilmiştir.

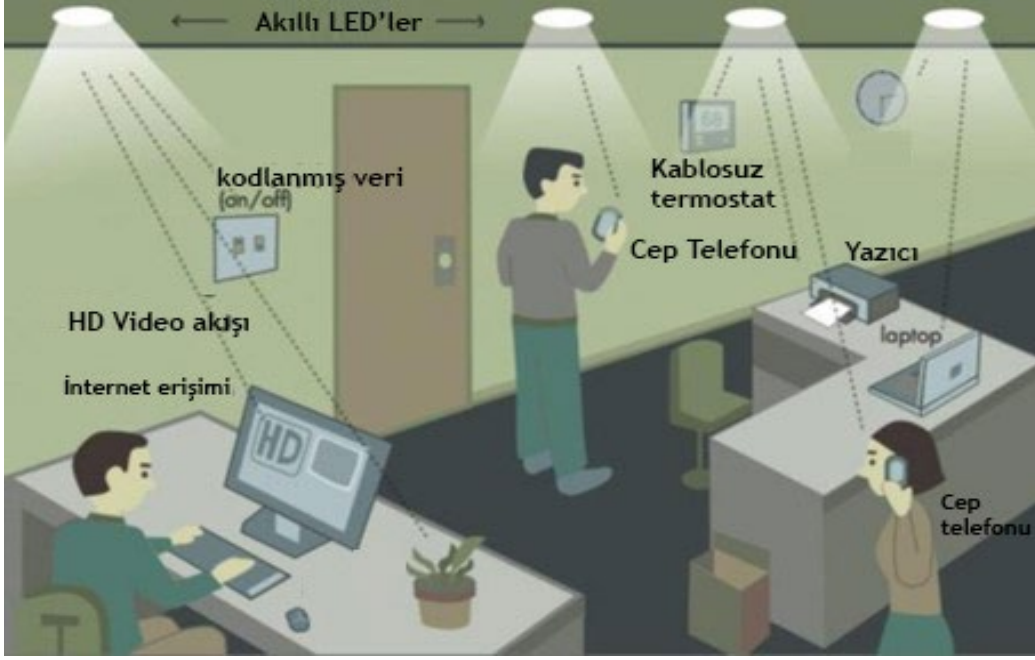
Tablo 1. Li-Fi ve Wi-Fi karşılaştırılması [1]

Özellik	Li-Fi	Wi-Fi
Kapasite	Radyo dalgalarından 10000 kat daha geniş spektrum	Radyo dalgaları, elektromanyetik spektrumun yalnızca küçük bir bölümünü oluşturmaktadır.
Verimlilik	LED'ler daha az enerji tüketir ve bu yüzden daha verimlidir.	Baz istasyonları yüksek enerji tüketmektedir. O yüzden enerjinin çoğu bu istasyonları soğutmak için kullanılmaktadır. O yüzden verimlilik daha düşüktür.
Kullanılabilirlik	LED ampullerin olduğu her yerde kullanılabilir.	Radyo dalgalarının zararlı etkilerinden dolayı sınırlı kullanım sunmaktadır.
Güvenlik	Işığın duvarlardan geçememesinden dolayı daha fazla güvenlidir.	Radyo dalgaları, dışardan bağlanma imkânı sunmasından dolayı daha az güvenlidir.
Geliştirme Yılı	2011	2009 (802.11n)
Hız	>10 Gbps	~ 150 Mbps
Mesafe	10 m	250 m
IEEE Standardı	802.15.7	802.11n
Spektrum Aralığı	384 THz - 789 THz	3 Hz – 3000 GHz
İletişim	VLC tabanlı	RF tabanlı
Yönlendirici	Ledler	Access Points
Altyapı Maliyeti	Düşük	Yüksek
Girişim	Yok	Radyo dalgaları ile girişimde bulunabilir.
Güç Tüketimi	Düşük	Yüksek
Çevresel Etki	Düşük	Orta

1.1. Li-fi Nedir?

Li-Fi, televizyon yayınları ve Wi-Fi haberleşmesinde kullanılan radyo dalgalarından yaklaşık olarak 10.000 kat fazla iletim kapasitesi sunan ve insan gözünün fark edemeyeceği kadar hızlı açılıp kapanan LED'lerden yayılan ışık dalgaları ile iletim sağlayan bir kablosuz haberleşme teknolojisidir. Li-Fi teknolojisi 2011 yılında TED (Technology, Entertainment, Design) Global Konferansı'nda, Alman fizikçisi Prof. Harald Haas tarafından bir LED ile 10 Mbps hızında video iletimi gerçekleştirilerek tanıtılmıştır. Li-Fi, VLC altyapısını kullanarak yüksek hız ve bant genişliğinde veri iletimi sağlamaktadır. Li-Fi, veri iletimi için ışık kullanan kablosuz haberleşme teknolojisidir [2]. Li-Fi sistemlerde performans analizlerinin ölçümü için

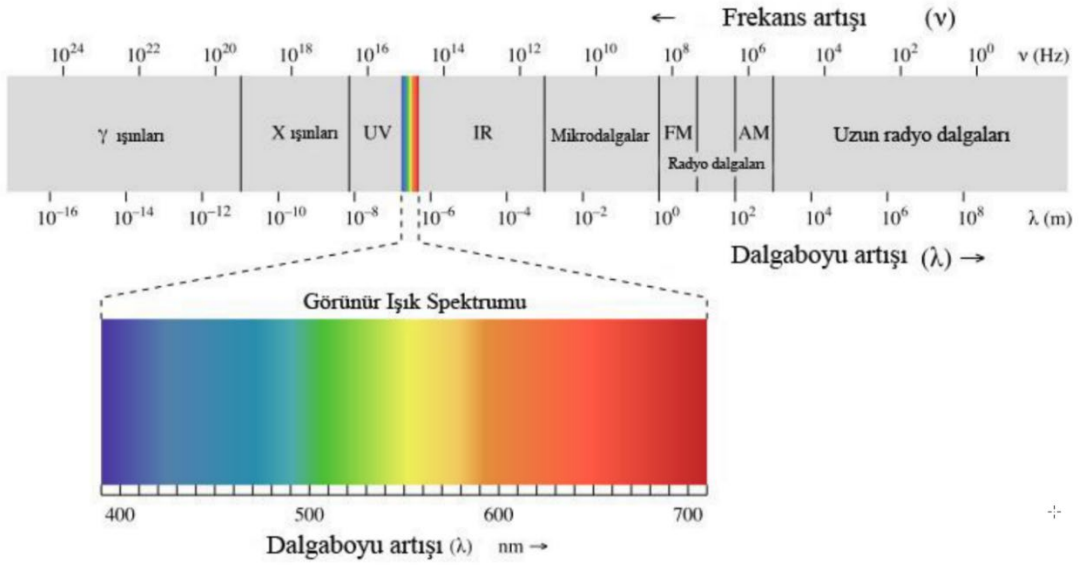
non-return-to-zero (NRZ), return-to-zero (RZ) ve on-off keying (OOK) gibi farklı modülasyon şemaları farklı parametrelerle birlikte kullanılabilir [3][4]. Farklı teknolojiler kullanılarak Li-Fi uygulaması yapılabilmektedir. Kurt ve Şenel gömülü sistemler üzerinden Li-Fi kullanılarak kablosuz veri iletimi uygulaması yapmışlardır [5]. Li-Fi ile veri iletimi Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Li-Fi [1]

1.2. Görünür Işık İletişim

VLC, veri iletişimi için kullanılan ve genel olarak radyo frekanslı kablosuz veri haberleşmesine alternatif olarak geliştirilmiştir [6]. VLC veri aktarımı için LED ışık kaynakları kullanılır böylece ışık hızında veri iletimi yapılabilmesi sağlanır. VLC'nin temel çalışma mantığı, LED'lerin insan gözünün fark edemeyeceği kadar hızlı kapanıp açılmasıyla verinin iletilmesi ve alıcı tarafında fotodetektörler veya kamera sensörleri ile bu verinin alınmasıdır. VLC'nin iletişim için kullandığı frekans aralığı ve dalga boyu Şekil 2’de gösterilmiştir. VLC 380 nm ile 780 nm arasındaki dalga boylarında görünür ışık kullanmaktadır. Bu dalga boyları 384 THz ile 789 THz frekans aralığında bulunur. Farklı tipteki LED ışık kaynaklarına göre bant genişliği değerleri değişmektedir [7].



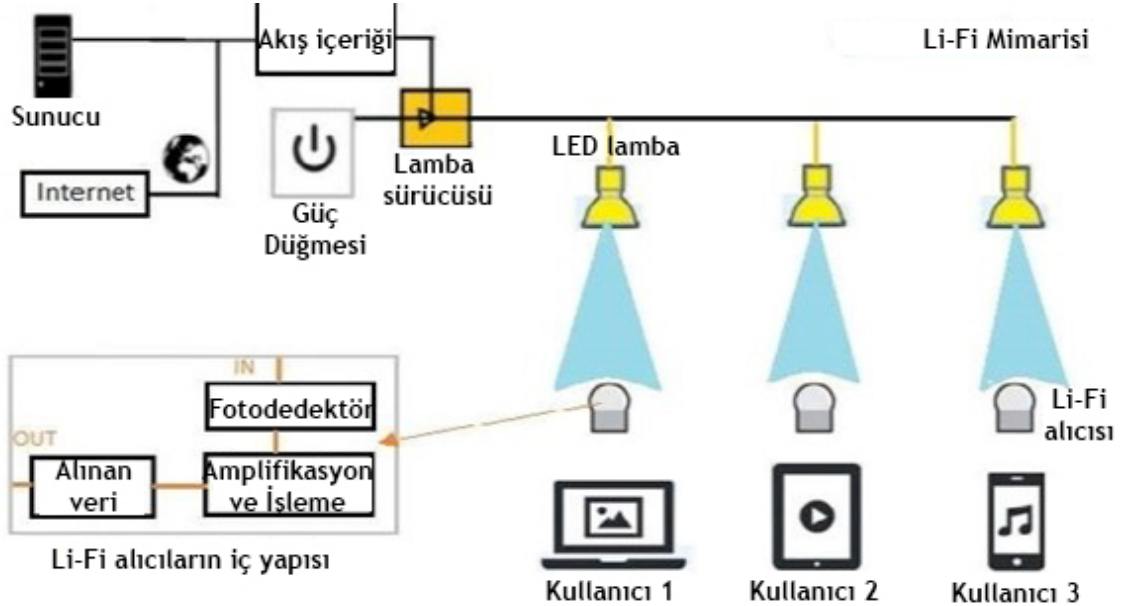
Şekil 2. Görünür ışığın elektromanyetik spektrumdaki yeri [8]

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Materyal

Li-Fi uygulamalarında temel olarak aşağıda belirtilen bileşenler bulunur.

- LED
- Işık
- Görüş Hattı (LoS – Line of Sight)



Şekil 3. Li-Fi Yapısı [9]

Şekil 3'te genel olarak Li-Fi çalışma mimarisi belirtilmiştir. Buna göre internet veya farklı veri kaynaklarından gelen veri, LED'lerin çok hızlı bir şekilde hızla açılıp kapanması ile ışık dalgalarına dönüştürülür. LED ışık kaynağı, gelen veriyi 1'ler ve 0'lara dönüştürür. LED'in açılma durumu 1 ve kapanma durumu 0'a karşılık gelir ve böylece veri modülasyonu sağlanmış olur. Alıcı tarafında fotodetektörlerle demodülasyon işlemi yapılarak gelen ışık sinyalleri dijital veriye çevrilir. Dijital veriye

çevrilen sinyaller donanım üzerinde bulunan devrelerle işlenerek anlamlı verilere dönüştürülür. Genel olarak Li-Fi için öncelikle bir LED ışık kaynağı, ışığın algılanması ve veri dönüşümünün yapılacağı fotodetektör alıcı cihaz ve verinin LED ışığına uygun olarak modüle edilmesini sağlayan bir cihaz gereksinimi vardır [10]. Yüksek kapasiteli ve düşük karmaşıklık düzeyinde Li-Fi iletişim altyapısının oluşturulması performans açısından önemlidir [11].

Çalışma kapsamında iki bilgisayar arasında geliştirilen Li-Fi devreleri kullanılarak kablosuz veri iletimi gerçekleştirilmiştir. Devrelerde farklı baud hızları kullanılarak metin ve dosya transferi yapılmış, aktarım süreleri karşılaştırılmıştır. TeraTerm programı dosya transferi için kullanılmıştır. Bu program aracılığıyla ZMODEM ve XMODEM protokolleri ile dosya aktarımı gerçekleştirilmiştir. Metin aktarımı ise yazılımın kendi arayüzü üzerinden sağlanmıştır.

XMODEM, alıcı ve verici arasında dosya transferini gerçekleştiren bir protokoldür. Bu protokol, verileri iletmek için paketlere ayırır. Alıcı, her paketi aldığı anda vericiye paketin doğru ulaşıp ulaşmadığını bildirir. Eğer bir paket iletimi sırasında hata oluşursa, alıcı bu paketi tekrar talep eder ve verici aynı paketi yeniden gönderir. Ancak, paket iletimindeki hata düzeltilmezse veya paket kaybolursa dosya aktarımı durdurulur.

Transfer süreci alıcı ile başlatılır. İlk NAK (Not Acknowledge - alınmadı) sinyali alıcı tarafından gönderilene kadar verici herhangi bir veri paketi göndermeye başlamaz. NAK sinyali, alıcının veriye hazır olduğunu belirtir. Eğer alıcının NAK sinyalini göndermesi gecikir veya bir hata meydana gelirse, verici beklemeyi durdurur ve zaman aşımı gerçekleşir. Zaman aşımının ardından dosya aktarım süreci yeniden başlatılır [12].

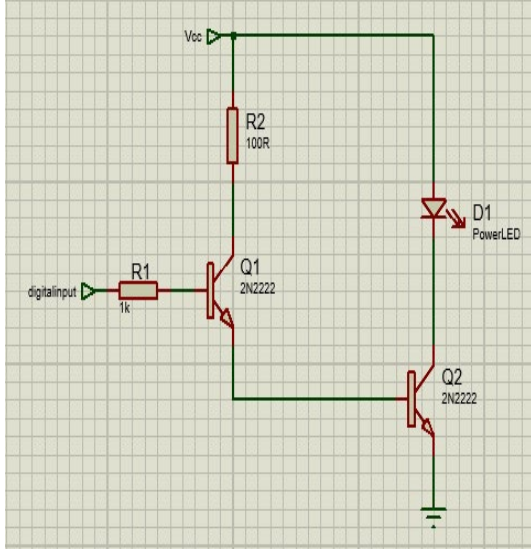
ZMODEM, XMODEM'e kıyasla önemli performans iyileştirmeleri sunan, yeniden başlatılabilir transfer mekanizması ve döngüsel artık denetimi (Cyclic Redundancy Check - CRC) gibi hata tespit yöntemleri içeren bir dosya transfer protokolüdür [13]. ZMODEM, büyük boyutlu paket transferini destekler ve bir bağlantı kesintisi yaşandığında transferin kaldığı yerden devam etmesine olanak tanır. XMODEM'in aksine, ZMODEM'de aktarım gönderici tarafından başlatılır ve her gönderilen paketin ardından ACK (Acknowledge - alındı) sinyali gerekmemektedir. Sadece, aktarımda bir kesinti veya hata meydana geldiğinde NAK sinyali gönderilir. Bu sinyal, hangi paketin aktarılmadığını belirler ve aktarım kaldığı yerden devam eder. Ayrıca, ZMODEM'deki paket numaraları, paketin konumunu da göstermektedir [13].

Li-Fi ile veri iletimi için gönderici bilgisayara USB portu aracılığıyla bağlanan UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) cihazı, bilgisayardan gelen veriyi 1 ve 0'lar şeklinde ikili kod olarak gönderici devreye iletir. Bu süreçte, 1 sinyali geldiğinde 5-volt iletim gerçekleşirken, 0 sinyali geldiğinde iletim kesilir. Bu sayede LED'in yanıp sönmeye sağlanır. UART, hız ayarı yapılabilen ve asenkron haberleşme protokolünü ve seri iletişim alt yapısını kullanan bir donanım bileşenidir. Asenkron terimi, burada gönderici cihazdan alıcı cihaza iletilen bitlerin senkronizasyonu için bir saat sinyalinin kullanılmadığını ifade etmektedir [14].

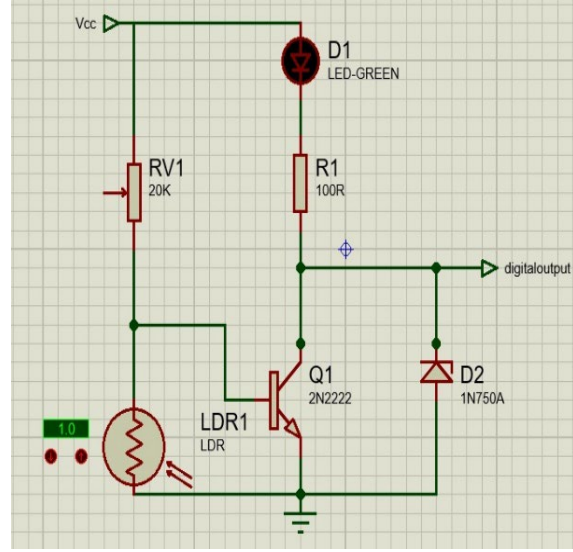
2.2. Metod

Bu çalışmada, bir bilgisayarda kurulan iki sanal makine arasında gerçekleştirilen Li-Fi devreleri aracılığıyla dosya aktarımı gerçekleştirilmiştir. Aktarım işlemi, ortam ışığı koşullarında yapılmıştır. Veri aktarım hızlarının donanımsal farklılıklardan etkilenmemesi için, aynı bilgisayar üzerinde iki ayrı sanal makine kurulmuştur. İlk sanal makine oluşturulduktan sonra klonlanarak ikinci sanal makine elde edilmiştir. Bu sayede donanımsal tutarsızlıkların önüne geçilmiştir.

Uygulama sırasında, Li-Fi devreleri ile dosya aktarımı gerçekleştirmek amacıyla Şekil 4a ve 4b'deki alıcı ve verici devre tasarımları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4a. Gönderici Devre Şeması



Şekil 4b. Alıcı Devre Şeması

Gönderici tarafında;

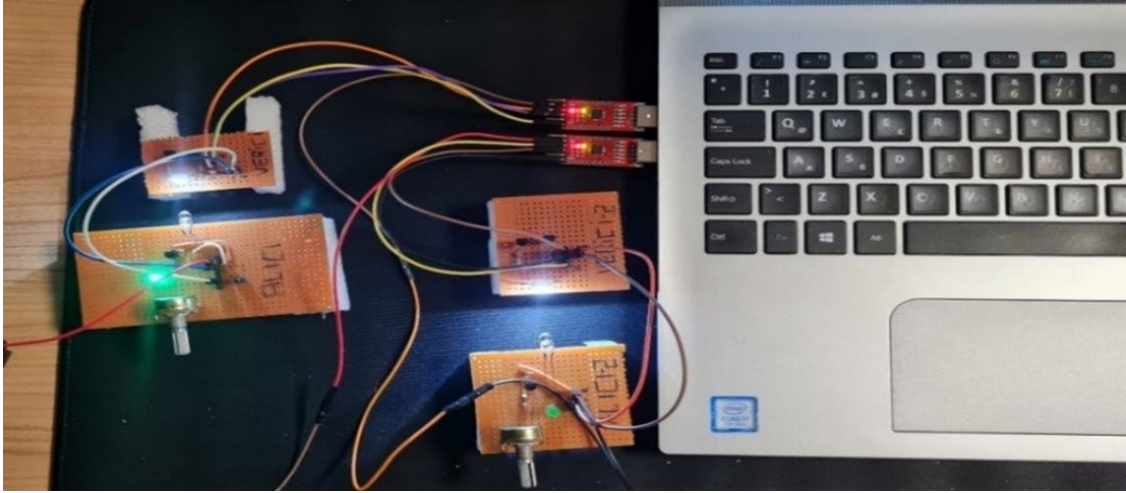
- 1 adet 1K Ω direnç,
- 1 adet 100 Ω direnç,
- 2 adet transistör,
- 1 adet power LED kullanılmıştır.

Alıcı tarafında ise;

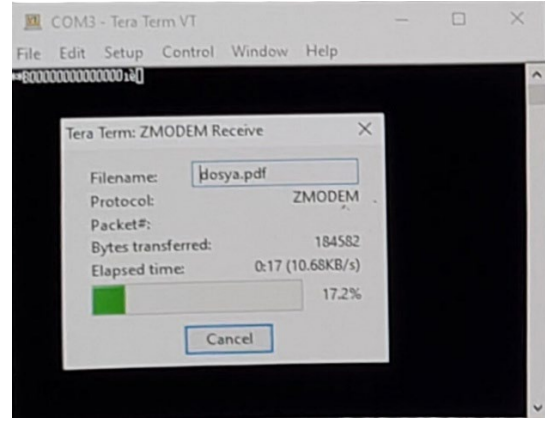
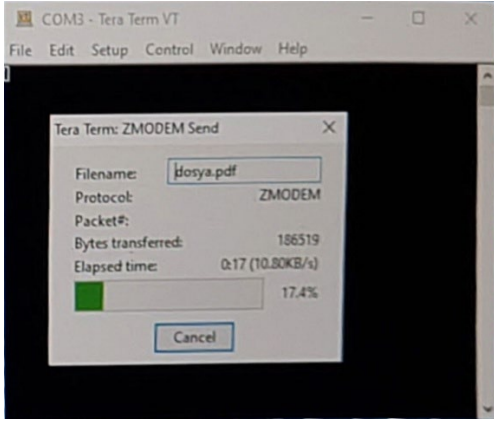
- 1 adet 100 Ω direnç,
- 1 adet 4,7V zener diyot,
- 1 adet transistör,
- 1 adet LDR (Light Dependent Resistor),
- 1 adet 20K Potansiyometre kullanılmıştır.

LDR ışığa karşı hassas olduğundan dolayı LDR'nin direncini ayarlamak için potansiyometre kullanılmıştır. Potansiyometre, bir voltaj ayarı yaparak LDR'nin direncini ışığın şiddetine göre ayarlaması için devreye eklenmiştir. Zener diyot ise UART cihazını elektriksel bir hasardan korumak için eklenmiştir. Ayrıca potansiyometrenin voltajının tam olup olmadığını belirlemek için de bir yeşil LED eklenmiştir.

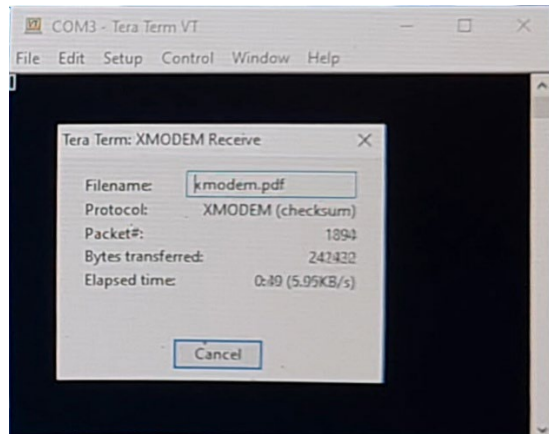
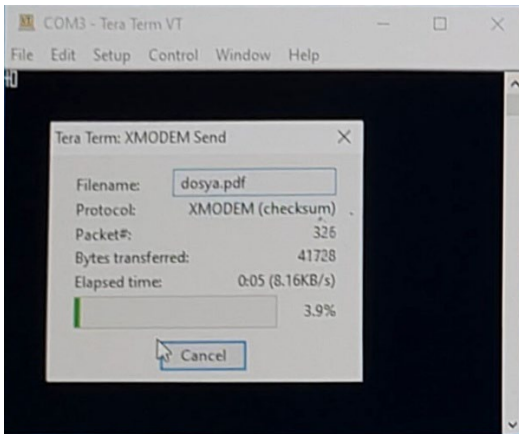
Gönderici tarafında On-Off Keying (OOK) modülasyonu kullanılmıştır. Bu modülasyon ile binary olarak kodlanmış olan veriye göre LED'in yanıp sönmeye sağlanmaktadır. Dosya aktarımının başlatılması için alıcı tarafın "hazır" mesajını iletmesi gerekmektedir. Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de devrelerin ve sanal makinelerin dosya aktarım esnasındaki durumları gösterilmiştir.



Şekil 5. Li-Fi Sisteminin Çalışma Anı [15]



Şekil 6. ZMODEM Protokolü ile Dosya Aktarım Anı [15]



Şekil 7. XMODEM Protokolü ile Dosya Aktarım Anı [15]

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Uygulamada, 3 MB, 1 MB ve 660 KB boyutlarındaki dosyalar, Li-Fi düzenekleri kullanılarak hem ZMODEM hem de XMODEM protokolleri ile 38400, 57600 ve 115200 baud hızlarında aktarılmıştır. 115200 baud hızının üzerinde, fotodiyotun performansının yetersiz olduğu gözlemlendiğinden, maksimum

hız olarak 115200 baud kullanılmıştır. Gönderim sonuçlarına ait veriler Tablo 3 ve Tablo 4'te gösterilmiştir. XMODEM protokolü ile yapılan dosya aktarımına ait sonuçlar Tablo 3'te yer almaktadır. 115200 baud hızında 8,15 KB/sn, 57600 baud hızında 4,45 KB/sn ve 38400 baud hızında 3,29 KB/sn aktarım hızları elde edilmiştir.

Tablo 4'te ise ZMODEM protokolü ile gerçekleştirilen dosya transferine ait sonuçlar gösterilmektedir. 115200 baud hızında 10,65 KB/sn, 57600 baud hızında 5,45 KB/sn ve 38400 baud hızında 3,65 KB/sn hızlarında dosya aktarımı sağlanmıştır.

Tablo 3. XMODEM ile Dosya Aktarım Verileri [15]

Baud Hızı	Dosya Boyutu		
	3 MB	1 MB	660 KB
115200	8,15 KB/sn 6 dk 30 sn	8,15 KB/sn 2 dk 10 sn	8,15 KB/sn 1 dk 23 sn
57600	4,50 KB/sn 11 dk 24 sn	4,45 KB/sn 4 dk	4,26 KB/sn 2 dk 40 sn
38400	3,29 KB/sn 15 dk 54 sn	3,29 KB/sn 5 dk 25 sn	3,29 KB/sn 3 dk 27 sn

Tablo 4. ZMODEM ile Dosya Aktarım Verileri [15]

Baud Hızı	Dosya Boyutu		
	3 MB	1 MB	660 KB
115200	10,65 KB/sn 4 dk 54 sn	10,65 KB/sn 1 dk 38 sn	10,65 KB/sn 1 dk 08 sn
57600	5,45 KB/sn 9 dk 38 sn	5,45 KB/sn 3 dk 16 sn	5,45 KB/sn 2 dk 04 sn
38400	3,65 KB/sn 14 dk 25 sn	3,65 KB/sn 4 dk 54 sn	3,65 KB/sn 3 dk 06 sn

Tablo 5'te XMODEM ve ZMODEM protokollerinin farklı baud hızlarda karşılaştırma sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 5. XMODEM ve ZMODEM Hız Karşılaştırması [15]

Protokol	Baud Hızları		
	115200	57600	38400
ZMODEM	10,65 KB/sn	5,45 KB/sn	3,65 KB/sn
XMODEM	8,15 KB/sn	4,45 KB/sn	3,29 KB/sn

Bu veriler, ZMODEM aktarım protokolünün XMODEM'e kıyasla 115200 baud hızında yaklaşık %30, 57600 baud hızında yaklaşık %20 ve 38400 baud hızında yaklaşık %10 daha hızlı dosya aktarımı yaptığını göstermektedir. Gönderim işlemi sırasında PDF, JPEG, PNG gibi çeşitli dosya türleri kullanılmış ve aktarılan dosyaların herhangi birinde bozulma veya hata meydana gelmemiştir. Sonuç olarak, dosyaların boyutlarının korunduğu ve görüntü içeren dosyalarda herhangi bir bozukluk meydana gelmediği, sadece metin içeren dosyalarda ise eksik harf veya karakter bulunmadığı tespit edilmiştir.

Ayrıca, baud hızları arasındaki oranların, aktarım hızları ile, aktarım süreleri açısından da korunduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, her bir baud hızının aktarım performansı üzerindeki etkisinin tutarlı bir şekilde yansıdığını ve hız arttıkça sürelerin de buna paralel olarak azaldığını göstermektedir. Tablo 6'da bu durum özetlenmiştir. Tablo 6'da yer alan oklar baud hızların artış miktarlarını göstermektedir.

Uygulama içerisinde gerçekleştirilen dosya aktarım işlemleri, Li-Fi devreleri kullanılmadan, yani UART bileşenlerinin doğrudan birbirine bağlanmasıyla tekrar edilmiş ve Tablo 5'te belirtilen aktarım hızlarının doğrudan yapılan bağlantılarda da sağlandığı görülmüştür. Bu durum, Li-Fi kullanılarak yapılan aktarımlarda herhangi bir hız kaybı yaşanmadığı ve kablo bağlantısıyla aynı hızda ve sürede aktarım

gerçekleştirildiğini göstermektedir. Bu bağlamda, Li-Fi kullanımı, kablo karmaşasını ortadan kaldırarak daha sade ve düzenli bir yapı sunması açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Tablo 6. Baud Performans Karşılaştırması

Baud Rate	Aktarım Hızları ve Süreleri
38400 $\xrightarrow{1,5 \text{ kat artış}}$ 57600	3,65 KB/sn $\xrightarrow{\sim 1,5 \text{ kat artış}}$ 5,45 KB/sn
	3 dk 06 sn iken 2 dk 04 sn'ye düşüyor
57600 $\xrightarrow{2x \text{ kat artış}}$ 115200	5,45 KB/sn $\xrightarrow{\sim 2 \text{ kat artış}}$ 10,65 KB/sn
	2 dk 04 sn iken 1 dk 08 sn'ye düşüyor

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Çalışmada, aynı donanım üzerinde sanal makinalarla oluşturulan iki bilgisayar üzerinde Li-Fi devreleri kullanılarak metin ve dosya gönderimi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Dosya aktarımı ZMODEM ve XMODEM protokolleri ile yapılmıştır. Her iki protokol için sırasıyla 38400, 57600, 115200, baud hızlarında veri aktarım süreleri ve hızları karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre ZMODEM'in, XMODEM'e göre tüm hızlarında daha yüksek aktarım hızı sağladığı tespit edilmiştir. Aynı dosyalar, Li-Fi devreleri kullanılmadan ve iki UART cihazının doğrudan kablolar aracılığıyla bağlanmasıyla tekrar aktarılmıştır. Bu testlerde, Li-Fi düzeneklerindeki hız ve sürelerin benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu bulgu, Li-Fi kullanımının kablolu aktarım ile karşılaştırıldığında herhangi bir hız veya veri kaybı yaşanmadığını göstermiştir. Ayrıca 115200 baud hızının üstündeki baud hızlarında LDR'nin de yetersiz kaldığı, dolayısıyla dosya aktarımının başlamadığı görülmüştür.

Çalışmada, Li-Fi veri iletişimi için başlangıçta fotodiyot kullanılması planlanmış ancak fotodiyotlardan daha hızlı ve verimli yanıt verebilmesi sebebiyle fotodiyot yerine LDR kullanılmıştır. Li-Fi devrelerinde kullanılan devre elemanlarının uygun maliyetli olması, sistemin toplam maliyetini de düşürmüştür. Çalışmada kullanılan Li-Fi devreleri ile maksimum Kbps seviyelerinde hızlara ulaşılmıştır. Daha yüksek hızlara erişmek, alıcı ve verici arasındaki mesafe, LED yerine LED dizileri veya daha güçlü LED'ler kullanımı, daha hassas fotodedyotör veya fotosel kullanımı ve farklı modülasyon tekniklerinin uygulanması gibi faktörlere bağlıdır. Daha güçlü LED'ler, daha uzak mesafelere veri iletimini mümkün kılabilir. Işık şiddetinin artırılması, bant genişliğini de artıracığından, daha güçlü LED'ler veya LED kümelerinin kullanılmasıyla hız ve süre olarak daha performanslı veri aktarımı sağlanabilecektir.

Çalışmada kullanılan XMODEM ve ZMODEM protokolleri standart olarak farklı teknolojilerde dosya transferi için uzun zamandır kullanılan protokollerdir. Çalışmanın ana amacı, Li-Fi ile kısa mesafeli veri iletişimi uygulamasıdır.

Li-Fi kullanımının yaygınlaşması, LED'lerin kullanım alanlarının genişlemesine yol açabilecektir. Ayrıca, Li-Fi'nin yaygınlaşması, kablosuz haberleşme maliyetlerini en aza indirebilecek ve radyo frekans bant kapasite yetersizliğine bir çözüm sağlayabilecektir. Li-Fi'nin yaygınlaşması, Wi-Fi gibi mevcut kablosuz teknolojileri tamamen ortadan kaldırmayacak ancak Li-Fi'nin artan kullanımı, radyo frekans kullanan teknolojilere olan talebi azaltarak radyo frekans bandının kullanımını önemli ölçüde rahatlatılabilecektir. Işık kullanımının yetersiz olduğu veya iletilmesinin imkânsız olduğu bölgelerde, Wi-Fi ile hibrid bir kullanım da uygulanarak başarıyı daha yüksek çözümler ve daha verimli Li-Fi uygulamaları geliştirilebilir. Li-Fi'nin veri iletişim sürelerini kısaltması, gerçek zamanlı veri akışı olan sistemlerde daha hızlı ve güvenli bağlantı sağlaması, Wi-Fi tabanlı sistemlere göre önemli bir avantaj sağlamaktadır. Li-Fi teknolojisinin en önemli avantajlarından birisi de görünür ışık spektrumunun radyo frekans spektrumundan 10.000 kata kadar daha geniş olmasıdır, bu da daha fazla bant genişliği anlamına gelmektedir. Gelecekteki çalışmalarda belirtilen bu oran, verici ve alıcı arasında kullanılan tüm bileşenlerin teknik dokümanlarda belirtilen değerlerine uygun olarak anahtarlama frekanslarına ve gecikmelerine göre yapılacak maksimum iletim hız hesaplamalarıyla net olarak belirlenebilir. Li-Fi teknolojisinin yaygınlaşması ile gelecekte çok daha güvenli ve hızlı kablosuz haberleşme sistemleri kullanılabilir. Gelecekteki çalışmalarda led yerine led dizileri ya da ticari ledler, LDR yerine güneş pili kullanarak daha yüksek bant genişliği ve hızlara ulaşılabilir.

uygulamalar geliştirilebilir. Çalışmada kullanılan LoS çalışma mantığına uygun olarak gönderici devreden gönderilen ışık farklı alıcı devreler tarafından da alınabilir. Gelecekteki çalışmalarda, LoS üzerinden gönderilecek ethernet çerçevesinde bulunacak kaynak ve hedef MAC adresi bilgisi ile bu sorunun çözümü sağlanabilir ve adresleme mekanizması sayesinde diğer alıcılar ışığı alsa da veriye erişim sağlayamayacaklardır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. A. Hadi, Wireless Communication Tends to Smart Technology Li-Fi and its Comparison with Wi-Fi. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 5:5 (2016) 40–47.
- [2] A. Sarkar, P. S. Agarwal, D. A. Nath, Li-Fi Technology: Data Transmission through Visible Light. *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management.*, 3:6 (2015) 1–12.
- [3] B. Aydin, Ç. Duman, Examination of OOK modulation schemes in Li-Fi systems. *Optik (Stuttg.)*, 270 (2022) 169996. doi: 10.1016/j.ijleo.2022.169996.
- [4] D. F. Fonseca, M. S. Mir, S. Iglesias de Frutos, B. G. Guzman, D. Giustiniano, Modulating LiFi for dual operation in the visible and infrared spectra. *Comput. Commun.*, 216 (2024) 251–259. doi: 10.1016/j.comcom.2024.01.005
- [5] K.D. Kurt, F.A. Şenel, Li-fi Teknolojisi Kullanılarak Kablosuz Haberleşme Sistemi Tasarımı, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8:2 (2023) 116-121.
- [6] S. Safaraliev, K. Vahaplar, A. Aybar, Led’li Aydınlatma Armatürleri ile Görünür Işık Haberleşmesi. VI. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi, 16-19 Ekim, İzmir. 2019.
- [7] C. Liang, L. Jiarong, L. Sicong, Y. Fang, D. Yuhan, S. Jian, Z. Xiao-Ping, D. Wenbo, Integrated sensing, lighting, and communication based on visible light communication: A review. *Digit. Signal Process.*, 145 (2024) 104340. doi: 10.1016/j.dsp.2023.104340.
- [8] R. Karthika, S. Balakrishnan, Wireless Communication using Li-Fi Technology. *SSRG International Journal of Electronics and Communication Engineering*, 2:3 (2015) 7-14. <https://doi.org/10.14445/23488549/IJECE-V2I3P107>.
- [9] S. Saranya, B. Ragavi, L.Pavithra, S. Susheel, M. Srivarsha, V. Vishal, Audio Transmission using Visible Light Communication and Li-Fi Technology, 6th International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), (2021). doi: 10.1109/ICICT50816.2021.9358638.
- [10] S. Alfattani, Review of LiFi Technology and Its Future Applications. *J. Opt. Commun.*, 42:1 (2021) 121–132. doi: 10.1515/joc-2018-0025.
- [11] M. G. Al-Hamiri, H. J. Abd, Enhancing the performance of LiFi communication with OSTBC, QAM, and OFDM: High-capacity, low-complexity transceiver design. *Results Opt.*, 16 (2024) 100675. doi: 10.1016/J.RIO.2024.100675.
- [12] S. Biswas, S. Singh, S. K. Kak, Network File Server in Dual Tasking Mode using Xmodem Protocol. *IETE Technical Review*, 8:2 (1991) 90–95. <https://doi.org/10.1080/02564602.1991.11438722>. 1991.
- [13] K. Lee, S. Chanson, A new file transfer protocol for telephone lines. *Proceedings of IEEE Pacific Rim Conference on Communications Computers and Signal Processing*, Victoria, BC, Canada, 2 (1993) 536-548. doi: 10.1109/PACRIM.1993.407303.

- [14] E. Peña, M. G. Legaspi, UART: A Hardware Communication Protocol Understanding Universal Asynchronous Receiver/Transmitter. *AnalogDialogue*, 54:4 (2020).
- [15] H. Yılmaz, Kısa Mesafe Kablosuz Veri Aktarımı İçin Li-Fi Tabanlı İletişim Modülü Tasarımı ve Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2022.



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

Determining the Quality of Turkish Black Tea Infusion Produced by Rapid Solid-Liquid Dynamic Extraction

Hızlı Katı-Sıvı Dinamik Ekstraksiyonla Üretilen Türk Siyah Çay Deminin Kalitesinin Belirlenmesi

Yazar(lar) (Author(s)): Kübra DOĞRU¹, Ahmet Levent İNANÇ²

¹ ORCID ID: 0000-0003-3427-8919

² ORCID ID: 0000-0002-7363-5096

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Doğru K., İnanç A.L., "Determining the Quality of Turkish Black Tea Infusion Produced by Rapid Solid-Liquid Dynamic Extraction", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 9(3): 187-202, (2024).

DOI: 10.46578/humder.1548113



Determining the Quality of Turkish Black Tea Infusion Produced by Rapid Solid-Liquid Dynamic Extraction

Kübra DOĞRU^{1,*} Ahmet Levent İNANÇ²

^{1,2*}Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 46040, Onikişubat/KAHRAMANMARAŞ

Abstract

Dynamic tea extraction with oxygenated (O) and non-oxygenated waters (OS) was carried out as a food process for ready-to-drink black tea. The tea samples produced with that process were compared with the black tea sample (R) brewed with the traditional tea brewing process. The qualities of all teas were determined by total phenols content, theaflavins, thearubigins, theabrownin, total color, brightness, hunter color and DPPH radical-scavenging activity parameters. The total phenolic contents of R, O and OS samples were respectively 3.137, in the range of 1.867-2.707 and 2.079-2.831 mg GAE/100g. The highest theaflavins (0.330%) was detected in R sample. Thearubigins contents were determined between 4.99-7.03%. The highest was found in R sample, and the lowest was found in O sample at 30.s. The ratios of theaflavins to thearubigins contents were determined as 0.0469, in the ranges of 0.0274-0.0299 and 0.0141-0.0309 for R, O and OS samples, respectively. The binary interactions between tea extraction process-time, tea extraction process-theabrownin, and time-theabrownin for theabrownin values of R, O and OS samples were statistically significant ($p<0.05$). The waters and the brewing times affected color values of the samples. O and OS samples had the higher antioxidant activity values than that of R sample and OS samples showed the highest antioxidant activity during all extraction times.

Makale Bilgisi

Başvuru: 11/9/2024
Düzelme: 15/9/2024
Kabul: 16/9/2024

Anahtar Kelimeler

Siyah çay
Ekstraksiyon
Demleme

Keywords

Black tea
Extraction
Brewing

Hızlı Katı-Sıvı Dinamik Ekstraksiyonla Üretilen Türk Siyah Çay Deminin Kalitesinin Belirlenmesi

Öz

Oksijenlendirilmiş (O) ve oksijenlendirilmemiş sularla (OS) dinamik çay ekstraksiyonu, içime hazır siyah çay için bir gıda işlemi olarak gerçekleştirildi. Bu işlemle üretilen çay örnekleri, geleneksel çay demleme işlemiyle demlenen siyah çay örneği (R) ile karşılaştırıldı. Tüm çayların nitelikleri, toplam fenol içeriği, theaflavinler, thearubiginler, theabrownin, toplam renk, parlaklık, hunter rengi ve DPPH radikal giderici aktivite parametreleri ile belirlendi. R, O ve OS örneklerinin toplam fenolik içerikleri sırasıyla 3.137, 1.867-2.707 ve 2.079-2.831 mg GAE/g aralığında bulundu. En yüksek theaflavinler (%0.330) R örneğinde tespit edildi. Thearubigin içerikleri %4.99-7.03 arasında belirlendi. En yüksek R örneğinde, en düşük ise O örneğinde 30. saniyede bulundu. Theaflavinlerin thearubiginlere oranı R, O ve OS örnekleri için sırasıyla 0.0274-0.0299 ve 0.0141-0.0309 aralığında 0.0469 olarak belirlendi. R, O ve OS örneklerinin theabrownin değerleri için çay ekstraksiyon işlemi-zaman, çay ekstraksiyon işlemi-theabrownin ve zaman-theabrownin arasındaki ikili etkileşimler istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0.05$). Sular ve demleme süreleri örneklerin renk değerlerini etkiledi. O ve OS örnekleri R örneğine göre daha yüksek antioksidan aktivite değerlerine sahipken, OS örnekleri tüm ekstraksiyon süreleri boyunca en yüksek antioksidan aktiviteyi gösterdi.

1. INTRODUCTION

Tea (*Camellia sinensis*) is the manufactured drink most consumed in the world and considered to be healthier than coffee and cocoa and is highly recommended by the World Health Organization. It is one of the three most consumed nonalcoholic beverages, and its global consumption has risen significantly in recent years. The economic and social significance of tea is easily understood from the fact that

* Corresponding author, e-mail: sariyeyrl80@hotmail.com

approximately 20 billion cups of brewed tea are consumed daily worldwide. World black tea production is projected to grow (at 2.9 percent annually to reach 4.17 million tonnes) at a slightly higher rate compared to the previous decade by 2023 [1-4]. The reason for this increase may be a positive effect on health. The major chemical compounds which play a pivotal role in determining the health benefits of tea include catechins, alkaloids (caffeine, theobromine and theophylline), amino acids, volatile compounds, carbohydrates, lipids, vitamins, inorganic elements and organic acids. Black Tea is rich in polyphenols, especially Theaflavins and Thearubigins [5-8]. Theaflavin is thought to be responsible for the medicinal value of black tea. Tea infusion may be a significant source of most important basic nutrients such as calcium, magnesium, potassium, and fluoride. Some metals found in tea are components of important enzymes or participants in a number of physiological processes. Among the essential elements in black teas depending on the kinds, K, Mg, Ca and Al; respectively, could be present at the highest concentration. Pb and Mn contents of several tea samples would be over the Tolerable Daily Intake levels. It was reported that theaflavin and theaflavin gallate derivatives shown broad-spectrum antiviral activity against several viruses, including influenza A and B viruses and hepatitis C virus. [9-12]. Chen et al. (2005) reported that the theaflavins derivatives have potent inhibitory activity against SARS, by inhibiting SARS-CoV 3CLpro activity [13]. Moreover, Lung et al. (2020) found that theaflavin was able to dock in the catalytic pocket near the active site of RdRp in SARS-CoV-2, SARS-CoV, and MERS-CoV [14].

The quality of the brewed tea depends on many factors such as the color, brightness, taste and aroma of the brew, the brewing conditions, as well as the chemical qualitative and quantitative composition of the tea leaf, the genetic strain, the production process, the size of the tea leaf. [15-18]. Also, the changes in composition of some chemical compounds such as mineral material could be occurred depending on tea variety, tea concentration, and steeping time (19).

Brewing tea is an extraction process. Extraction is described as a process where certain substances of a solid or a liquid mixture are dissolved, washed or leached by the aid of a liquid solvent in food engineering operations [20]. Many tea drinkers prefer to prepare their drinks in the traditional process because it is the best way to make tea. The traditional black tea drink is basically made by extraction (steeping or brewing) tea leaves in hot water for 5-15 minutes [21-24]. The time for the beverage to reach the customer could be problem at offices where every minute is valuable. It could be resolved by tea vending machines [25]. Tegeltija et al. (2020) reported that vending machines such as tea making machine are mostly installed in busy big places such as shopping malls, bus and train stations, airports, schools, university campuses, companies [26]. There are two distinct types of tea and coffee vending machines (Household Tea and Coffee Machine and Tea and Coffee Vending Machine). The operation of Household Tea and Coffee Machine is quite simple. It consists of a vessel containing tea or coffee premix powder and water vessel which is connected to the heater. The water is heated and added into the container there by providing the required beverage. Tea and Coffee Vending Machine is quite complex in view of mechanical and electronic circuits. The water is always heated and remains at the required temperature. The powder falls into a second cup where a stream of hot water mixes with the powder and the beverage is produced which then flows into the main cup. The amount of water flowing is controlled by valves which are operated using timing circuits [25]. Drinker or consumer's satisfaction is related to tea of quality. Persons tasted tea from a vending machine say that it was not as good as tea made in home or tea got in shops [27].

It was designed a food operation process for a tea vending machine that provides the desired tea drink of the quality in a shorter time. Tea brewed by the traditional process was accepted as the desired quality tea drink and it was investigated how much the quality of tea drinks obtained from the designed process approached to the quality of tea brewed by the traditional process.

2. MATERIAL AND METHOD

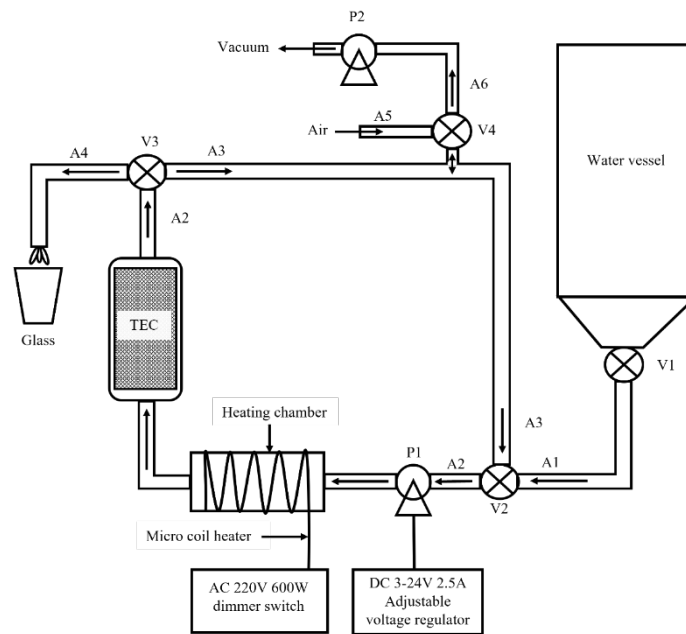
2.1. Material

Black tea (Altınbaş, Çaykur, Rize, Turkey) was purchased 1 kg from a local market. The standard reagents and methanol were chromatographic grade, and the others were all analytical grade chemicals. Chemicals were purchased from Merck Group.

2.2. Method

2.2.1. Dynamic tea extraction process

Dynamic tea extraction process for tea brewing was carried out in a laboratory-built apparatus. Schematic diagram of it is illustrated in Fig. 1. It consists of a water vessel (2.5L PET bottle with cap fitted with two way mini ball valve), a mini water pump (Pandoraplanet; model 385, DC 6V-12V, high temperature resistance 100°C), a 316 stainless steel cylindrical heating chamber (L:130, ID: 8 and OD: 18; mm) installed a coiled heater (500W, 220V AC, L:82 and ID: 18; mm) on, a rotary dimmer switch (3-600W, 230V AC), a 316 stainless steel cylindrical tea extraction chamber (TEC); having L:100, ID: 27 and OD: 50; mm, high temperature silicone tubing hose-food grade (9x14; mm), an Universal DC 3-24V adjustable voltage regulator (LED Display screen, Input:100-240VAC 50-60Hz, output: 2.5A 60W), three stainless steel 304 high pressure high temperature 3/4 inch L port three-way mini ball female valves (port size: 9mm), a stainless steel 304 3/4 inch two-way mini ball female valves (port size: 12mm), a mini vacuum pump (Boeco, R-300), 3/4 inch BSPT male x 10mm hose barbed 304 stainless steel pipe fitting hose tail connectors and hose clamps.



A, flow direction; P1, water pump; P2, vacuum pump; TEC, tea extraction chamber; V, valve

Figure 1. Schematic diagram of the tea extraction system

Both ends of the main body of the extraction chamber were sealed with nipples fitted with quick couplings (3/8-inch male thread socket; 506 EGB 17 and 10mm hose tail socket; 506 H 10). Disc filters (Stainless Steel Woven Wire 100 mesh) were placed between the nipples and the body to retain solid tea particles. The chambers, valves and hoses were entirely surrounded by thermal insulation materials. The operation principle of the process consisted of bleeding the air from the system, adjusting the temperature of the system to $85\pm 3^{\circ}\text{C}$ by circulating water without being present tea in TEC chamber, and water cycle for tea extraction. The total internal volume of the hoses between valves V1 and V2 was 200 ml. When A2-A3 ports of V2 and V3 valves were open (A1, A4 ports and V4 valve were closed), the total internal volume of the system (including valves, hoses, pumps and hoses) was 200mL, too. The circulation time of 200 ml water, which left from V2 valve (A2 direction) and entered to V2 valve (A3 direction) again, was adjusted to 30 seconds and the temperature to $85\pm 3^{\circ}\text{C}$ by the voltages of the water pump and heater. That is one cycle of water passing through the tea chamber. Putting 5 g of tea into TEC chamber, 1-5 cycles were performed. A2-A4 port of the V3 valve (A3 was closed) and A3-A5 port of V4 valve (A6 was closed) were opened and the brewed tea sample was taken from the A4 line after the desired number of cycles. All controls (opening and closing of the valves, adjusting the pumps) were manually done. The volume of

brewed tea obtained from the process was 180 ± 3 ml. Two kinds of pure water were used in the process; the oxygenated (O) and non-oxygenated (OS) water. The HI-98193 portable dissolved oxygen meter (Hanna, UK) was used to be determined the dissolved oxygen amounts in the waters. Non-oxygenated (OS) water had 7.5 ± 0.02 mg/L of dissolved oxygen concentration. Oxygenated (O) water which had 35.7 ± 0.04 mg/L of dissolved oxygen concentration was obtained as described below. Half of the PET bottle volume was filled with oxygen-free water at room temperature. After cap with valve was closed, the other half was filled by pressing oxygen from the pure oxygen tube. It was kept for 24 hours at room temperature to bring to equilibrium it by shaking the bottle for 15 minutes.

2.2.2. Traditional tea brewing process

The non-oxygenated water of 200 ml at $85 \pm 3^\circ\text{C}$ was poured into a thermal isolated vessel then black tea of 5 g was added on it and it was left to brew for 20 minutes (the time that the tea manufacturer recommended). The brewed tea in the vessel was passed through filter (Stainless Steel Woven Wire 100 Mesh) and a 180 ± 3 ml volume of brewed tea sample was obtained. That tea was accepted as the reference sample (R).

2.3. Analysis

2.3.1. Total phenolic content

The contents of phenolics in tea drinks were determined by a spectrophotometric method [28]. 2.5 ml of the diluted (1/10) Folin-Ciocalteu reagent and 2 ml of 75 g/l Na_2CO_3 (after 8 min) was added to 0.5 ml of tea drink sample. The sample was incubated for 5 min at 50°C and then cooled to room temperature. The absorbance was measured at 760 nm according to the blank (water). The results were expressed as mg gallic acid (GA)/g sample.

2.3.2. Theaflavins, thearubigins, theabrownin, total color and brightness

Theaflavins (TF), thearubigins (TR) and theabrownin (TB) were estimated according to the method described by Roberts and Smith, (1961) (29). Details of the method used are as follows. Tea drinks obtained from dynamic tea extraction or traditional brewing processes were allowed to cool to room temperature. A portion of the tea drink (50 ml) was mixed with isobutyl methyl ketone (50 ml) in a separating funnel and shaken for 5 min. It was allowed the layers (isobutyl methyl ketone layer and aqueous layer). Part of the isobutyl methyl ketone layer (4 ml) was diluted to 25 ml with methanol (solution A). The absorption of solution A was recorded as E_A . A portion of the aqueous layer (2 ml) was mixed with water (10 ml) and shaken for 3 min, and then diluted to 25 ml with methanol (solution B). The absorption of solution B was recorded as E_B . Another portion (25 ml) of the isobutyl methyl ketone layer was mixed with 2.5% (w/v) NaHCO_3 (15 ml) and shaken for 30s. The aqueous layer was discarded, and part of the isobutyl methyl ketone layer (4 ml) was diluted to 25 ml with methanol (solution C). The absorption of solution C was recorded as E_C . A portion of the aqueous layer of (2 ml) left from the first extraction with isobutyl methyl ketone was mixed with a saturated oxalic acid (2 ml) and distilled water (6 ml), and then diluted to 25 ml with methanol (solution D). The absorption of solution D was recorded as E_D . The absorbances (E_A , E_B , E_C , and E_D) of the above solutions (A, B, C and D) were measured with a spectrophotometer (Shimadzu, UV-1800) at 380 and 460 nm, with methanol-water solution (1:4 v/v) as a blank. The percentages of theaflavins (TF%), thearubigin (TR%) and theabrownin (TB%) were calculated the followings equations (1, 2, 3);

$$TF\% = 2.25E_C^{380} \quad (1)$$

$$TR\% = 7.06(1.77E_D^{380} + E_A^{380} - E_C^{380}) \quad (2)$$

$$TB(\%) = 14.12E_B^{380} \quad (3)$$

The following expressions were used for measure of the total color and brightness of the tea drink (eqs. 4, 5),

$$total\ colour = 6.25(E_A^{460} + 2E_B^{460}) \quad (4)$$

$$\text{Brightness \%} = 100 \left(\frac{E_C^{460}}{E_A^{460}} + 2E_B^{460} \right) \quad (5)$$

The method was performed in duplicate.

2.3.3. Hunter color (L*a*b* values)

Color values of samples expressed as CIELAB L*a*b* units were determined with a spectrophotometer (ColorFlex EZ, Hunter Associates Laboratory, Virginia, USA). L*, a*, and b* values represent dark (0) to white (100) colors, green (-) to red (+) colors and b* blue (-) to yellow (+) colors, respectively.

2.3.4. DPPH radical-scavenging activity

The antioxidant activity of tea drink sample, based on the scavenging activity of the stable 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) free radical, was determined by the method described by Kumaran, (2006). Tea drink sample of 0.1 ml was added to 2 ml of a 0.02 mM DPPH -methanol solution. Blank was prepared using water of 0.1 ml in place of tea drink was added to 2 ml of a 0.02 mM DPPH -methanol solution. The absorbance (A) of sample was read with a spectrophotometer (Shimadzu, UV-1800) against the blank at 517nm after 30 min. The percent inhibition activity was calculated the followings equation (6),

$$\text{inhibition activity (\%)} = 100 \left(A_{blank} - \left(\frac{A_{sample}}{A_{blank}} \right) \right) \quad (6)$$

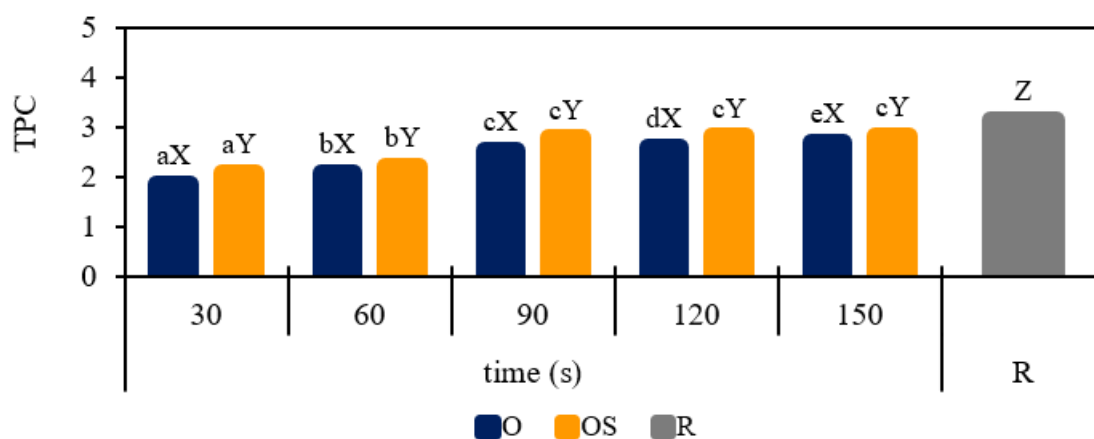
2.3.5. Statistical analysis

Statistical analyzes were carried out with the SPSS program (version 27). Variance analyzes were performed as one-way ANOVA and general linear model (GLM). Significant differences between the samples at each time and the times of each sample were determined by the Duncan multiple comparison test. Differences were considered significant at the p<0.05 level [30].

3. THE RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Total Phenolic Content

The total phenolic contents (mg GA/g tea) were 3.137 for the R sample, in the range of 1.867-2.707 for O samples, and in the range of 2.079-2.831 for OS samples (Figure 2). It was determined that the total phenolic content of R sample was higher than the values of all of O and OS samples, and that the phenolic contents increased with increasing time.



R: black tea prepared with the traditional tea brewing process (Reference sample)
 O: black tea produced using oxygenated water by the dynamic tea extraction process
 OS: black tea produced using non-oxygenated water by a dynamic tea extraction process
 "a-e" series shows the differences between the times of each sample, "X<Y<Z" sequence shows the differences between the samples (O and OS) at each time and the R sample, statistically ($p < 0.05$).

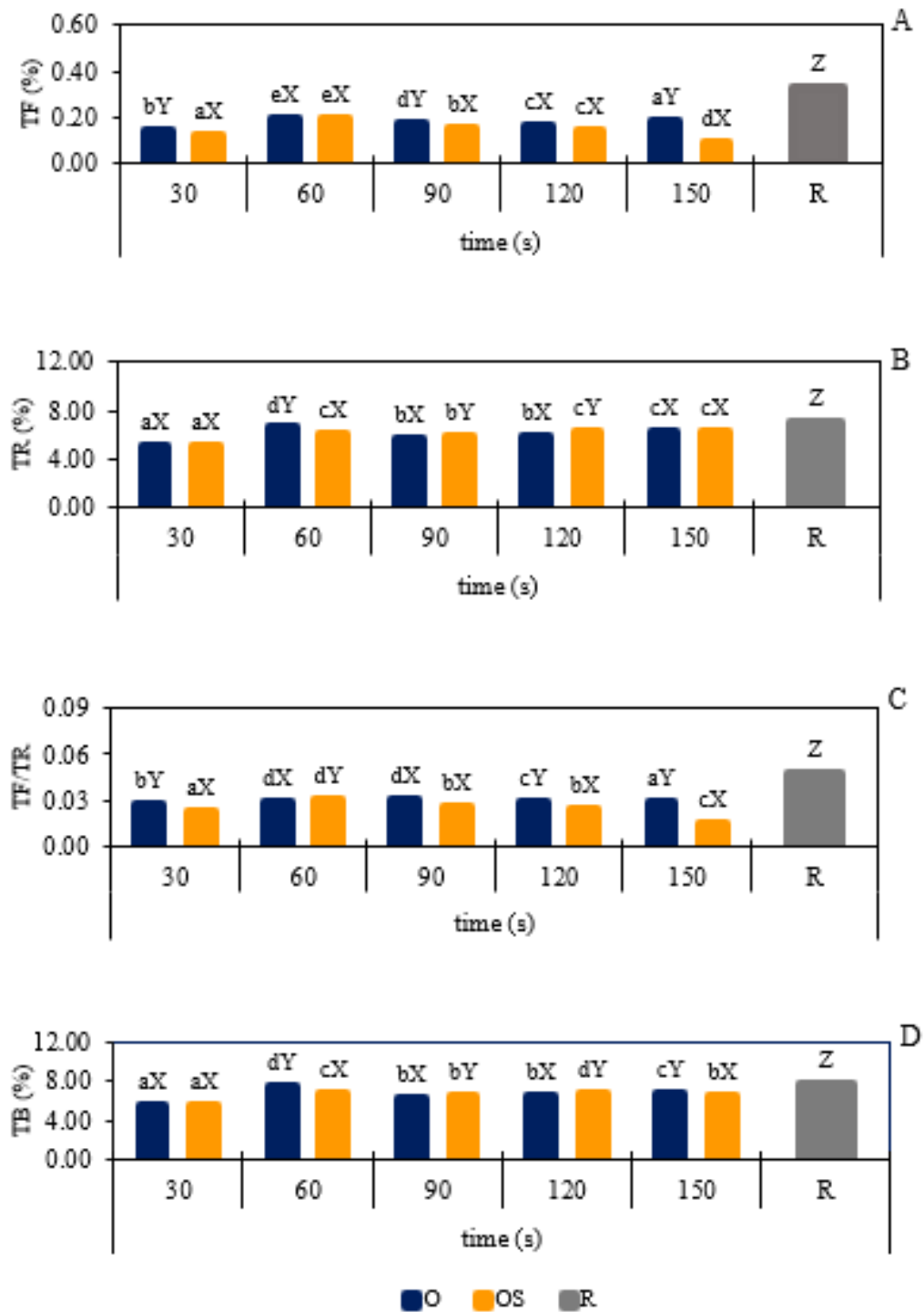
Figure 2. The total phenolic contents (TPC; mg GA/g sample) of the teas

O and OS samples were different from each other at all times and also from R sample. There were the differences between times of O samples. The samples at 90, 120 and 150th s were similar, and the samples at 30 and 60th s were different from each other for OS samples ($p < 0.05$). Other researchers reported that total phenolic content depends on time and temperature, too [27-29]. Additionally, Guzel-Seydim et al. (2021) determined that brewing techniques had a significant effect along with long brewing time [21]. The total phenolic contents of Turkish black teas are generally around 6-7% [34,35].

3.2. Teaflavin (TF), Thearubigin (TR), TF/TR Ratio and Theabrownin (TB) Theaflavin (TF)

TF, TR, TF/TR and TB values of the teas are given in Figure 3. The highest TF value (0.330%) was detected in R sample. OS sample at 150th s had the lowest value whereas it was in the range of 0.137%-0.193% for O samples. O and OS samples at 60 and 120th s were the same but different from R; O and OS samples at 30, 90 and 150th s were statistically different from each other and from R. Also, it was determined that each time was different from each other in O and OS samples ($p < 0.05$). Salman et al. (2019) found TF values between 0.10-0.16% at different brewing times, whereas Karaküçük, (2018) found that it varied between 0.16-0.24% in the tea samples brewing by six different drinkable waters [35, 36]. Efe, (2017) reported that it varied between 0.28% and 0.47% on average in different brewing times, and that the highest TF contents were obtained at 60. minute [37].

TR values for all samples were determined between 4.99-7.03%. The highest was found in the R sample, and the lowest was found in the O sample at 30th s.



R: black tea prepared with the traditional tea brewing process (Reference sample)

O: black tea produced using oxygenated water by the dynamic tea extraction process

OS: black tea produced using non-oxygenated water by a dynamic tea extraction process

"a-e" series shows the differences between the times of each sample, "X<Y<Z" sequence shows the differences between the samples (O and OS) at each time and the R sample, statistically (p<0.05).

Figure 3. Teaf flavin (TF), Tearubigin (TR), TF/TR and Teabrownin (TB) values of the teas

The lowest (5.10%) and the highest (6.17%) values for OS samples were respectively at 30, and at both 120 and 150th s. O sample at 30th s and OS sample at 150th s were the same, but different from R; O and OS samples were different from each other at 60, 90 and 120th s and from R. In time-TR evaluation, it was determined that 90 and 120th s were similar, and 30, 60 and 150th s were different from each other for O samples. On the other hand, 60, 120 and 150th s were similar and 30 and 90th s were different for OS samples ($p < 0.05$). As the present results were close to Efe's (2017) study (3.09-6.85), Karaküçük, (2018) results (13.32-17.63) were very high [36, 37].

TF/TR ratios were determined as 0.0469 for R sample, in the ranges of 0.0274-0.0299 and 0.0141-0.0309 for O and OS samples. As the highest TF/TR value was detected in R sample, the lowest value was detected in OS sample at the 150th s, O and OS samples in each time were found to be statistically different from each other and from the R sample ($p < 0.05$). The samples at both 60 and 90th s were similar but the samples at other times were different from each other for O teas. The samples at 90 and 120th s were similar for OS teas.

TB values were detected in the range of 5.48-7.66%. The highest was found in the R sample, and the lowest in both the O and OS samples at 30th s. The values in O sample at 30th and OS sample at 150th s were the same, but R sample was different from all other samples ($p < 0.05$). It shows that the results are close to Efe's (2017) study (3.09-6.85), but different from Karaküçük, (2018) results (13.32-17.63) [36, 37]. The binary interactions between tea extraction process-time, tea extraction process-TB, and time-TB for TB values of R, O and OS samples were statistically significant ($p < 0.05$).

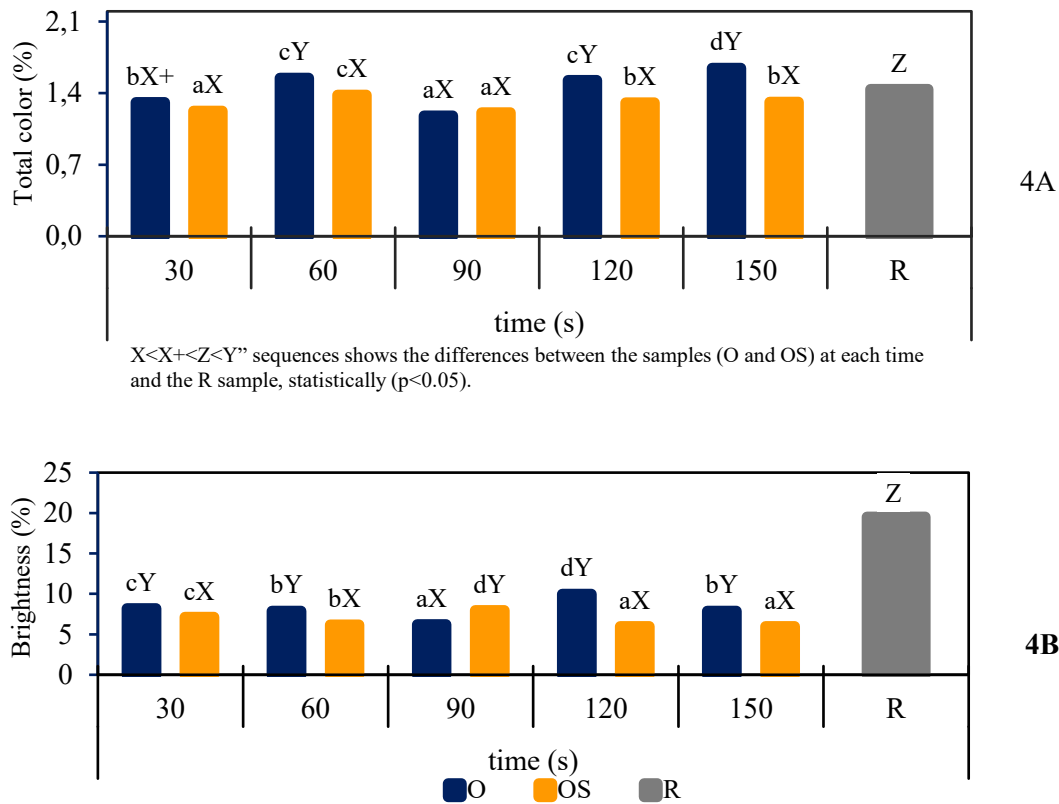
Theaflavin and thearubigins begin to form with the oxidation of primary secondary compounds at black tea production stages, and therefore TF/TR ratio gradually increases (0.014-0.046). As TFs are responsible for the light-yellow color, astringency and bitterness in black tea liquor, TRs are the compounds responsible for the dark, dull color [38]. Additionally, as the size of the tea leaves decreases in sorted black teas and the particle size decreases in tea powders, the TF/TR ratio increases [39]. Similar results were observed in the study of Efe, (2017) and irregular increases and decreases were detected. Jiang et al. (2019) found the TB value of Black tea obtained from fresh tea (*Camellia sinensis* L.) leaves was 2.71 mg/g, but Xu et al. (2019) determined it as 0.32 mg/g [37, 40, 41]. However, in the simulation of drought severity and rainfall on volatile and non-volatile metabolites of tea, it was found that the TB amount was 0.016 mg/mg in the tea sample in 100% rainfall treatment, 0.018 mg/mg in the tea sample in 75% rainfall treatment, and 0.041 mg/mg in the tea sample in 50% rainfall treatment. Therefore, variations in TB amounts are revealed [42].

The quality of black tea is considered optimum when the ratio between TF and TR is 1/10. In this case, the color is copper red or dark orange. Astringency, brightness, strength and aroma are at their highest level and tea tasters confirm the high quality of those teas in which the ratio of theaflavins to thearubigins is greater than 0.1. [43, 44]. Although the ratio of theaflavins to thearubigins in a good tea is 1/10, when this ratio is 1/25 or less, the brightness, astringency and strength in the tea brew decrease significantly [45, 46]. TBs are advanced oxidation and polymerization products that are responsible for the dark brown-reddish color of the tea brew. Those products, which are an important component of black tea and have a negative effect on tea quality, are formed from polyphenols, TFs and TRs [47]. The determinations of TF, TR, TF/TR and TB amounts in teas; since it significantly affects the sensory properties of tea, is very important to determine the quality of the tea liquor [48-57]. In black tea liquor, the total content of TB is 4 to 9% (w/w), but in the dark tea liquor this value will be higher [58,59].

3.3. Total Color, Brightness and Hunter Color Values

The total color values of the samples are given in Figure 4a. The highest (1.64%) and the lowest (1.18%) values were detected at the 150 and 90. second in O samples. It was determined that the total color values of OS samples varied between 1.21-1.38%, and 1.44% for R sample. O and OS samples were statistically different from each other at all times, except 90. second, and from the R sample ($p < 0.05$). The brightness values of R, O and OS samples are given in Figure 4b. The brightness values varied in range of 6.24-9.98% and 5.98-7.97% for O and OS samples and was 19.51% for R sample. It was found that there were the similarities between 60 and 150th s for O samples and between 120 and 150th s for OS samples although the other times were different from each other ($p < 0.05$). The total color value depends on the level of theaflavin and thearubigins contained in a tea. Therefore, if theaflavin and thearubigins levels are high, the total color value may increase. It increases with increasing brewing time, and there may be unnoticeable increase and

decrease during that increase time. Poyrazoğlu and Gürses, (2004) found that the total color value of the teas brewed in different quantities and for different periods of time were between 0.725 and 2.875 [45].



R: black tea prepared with the traditional tea brewing process (Reference sample)

O: black tea produced using oxygenated water by the dynamic tea extraction process

OS: black tea produced using non-oxygenated water by a dynamic tea extraction process

"a-e" series shows the differences between the times of each sample, "X<Y<Z" sequence shows the differences between the samples (O and OS) at each time and the R sample, statistically (p<0.05).

Figure 4. Total color and brightness of the samples

Figure 5 shows Hunter Lab color values of the samples. The waters and the brewing times affected L values of the samples. O and OS samples were different from each other all times and from the R sample (p < 0.05). Similarly, there are studies reported that brewing water affected L value [36, 60, 61].

a* values of the samples varied from -0.06 to 0.27. The value of R sample was within the range of the values of O and OS samples, and it was observed that the brewing process, brewing water properties and different brewing times influenced a* value. O and OS samples at each time were different from each other (p < 0.05). The present study shows the like some previous studies. For example, in brewing process of the different teas (green tea, black tea, oolong tea, yellow tea, white tea and dark tea) with the different waters (ultrafiltration water, natural spring water, pure water and natural mineral water); the brewing waters had negative or positive effects on the a* value of the tea liquor due to their chemical compositions [60]. Wang et al. (2021) determined that the a* values increased sharply during black tea processing stages. Balaban, (2019) found the highest a* value to be approximately 5.6 [62, 63].

In addition, it was found that the a^* values of black tea brewed using six different drinkable waters (tap water, borehole water, softened water, pure water and 2 different commercially packaged water) varied between 0.17 and 1.10 [32]. The present results are partially similar to those reported that prolonged time and higher temperatures lead to more greenness and yellowness in the teas by [64]. Kadiroğlu and Dıblan, (2017) found in the range of (-0.67)-39.93 for the a^* value of black teas [65]. Kelebek, (2016) reported that the a^* values of tea increased positively with increasing brewing time and temperature, and that the color values of tea brewed in 3 minutes were lighter, less red, and less yellow than those obtained from brewing times of 6. and 10. minutes [66].

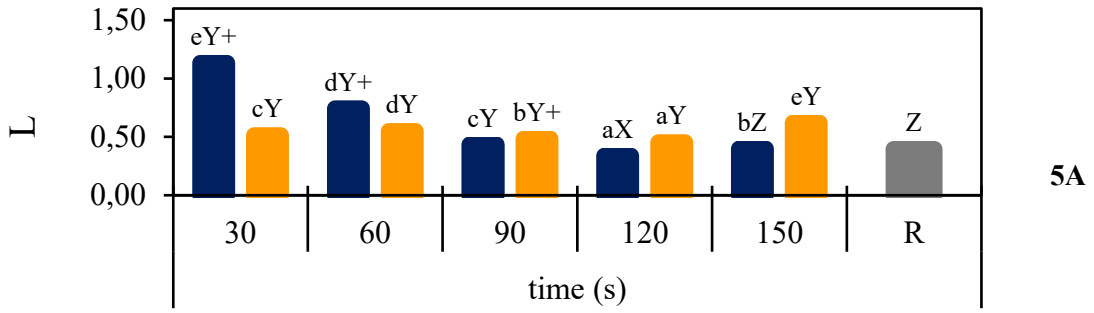
The b^* values were determined as 0.280 for R sample, in the range of 0.135-0.605 for O samples and 0.300-0.530 for OS samples. It was found that both O and OS samples in each time were different from each other and from R. Significant differences were detected in the b^* values when the time and the type of the water changed ($p < 0.05$). It was determined that the b^* value varied depending on the brewing time and the type of water used in brewing in previous similar studies, too [36, 60, 62-66].

3.4. Antioxidant Activity

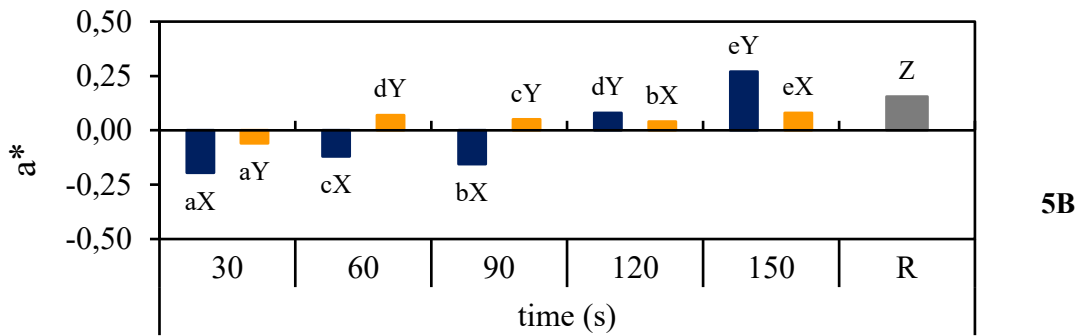
Figure 4.5 shows antioxidant activity of all samples. O and OS samples had the higher antioxidant activity values compared to R sample and the black teas prepared with oxygenated water showed the highest antioxidant activity at all times. The antioxidant activity differed from tea extraction process, extraction time and water characteristics ($p < 0.05$). Especially, the low antioxidant activity of the reference sample could be due to the long brewing time. Somewhat, there was the same trend observed in the antioxidant activity results as comparing the total phenolic compound content. Basically, antioxidant activity could depend on the total amount of phenolic compounds of black tea extracts [66]. The degradation of the antioxidant activity of tea might have been because of the degradation of the native antioxidants and the formation of new ones during tea brewing as coffee roasting [67]. Unfortunately, little information is available on the effect of oxygenated water on tea in relation to antioxidant activity, but Duan et al. (2011), investigated the effects of pure oxygen on pericarp browning, reactive oxygen species metabolism, antioxidant enzyme and antioxidant activity of harvested litchi fruit and it was reported that treatment with pure oxygen markedly increased antioxidant ability [68]. Reducing power and scavenging activities of DPPH radicals, superoxide anions and hydroxyl radical of methanol extracts from the fruit pericarp decreased progressively as increasing the storage time. Application of pure oxygen delayed the decrease of reducing power and free radical scavenging activity of the fruit.

5. CONCLUSION

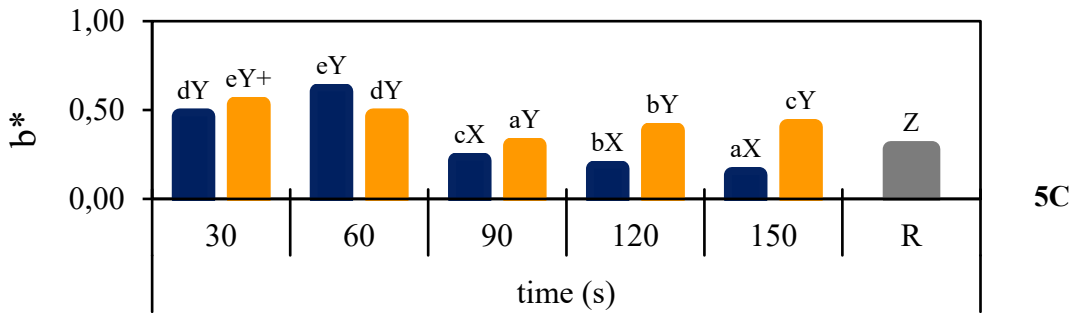
The black tea brewing processes were carried out using dynamic solid-liquid extraction and traditional processes (dynamic tea extraction and traditional brewing processes). The dynamic solid-liquid extraction method is designed to reach values close to the quality of classic tea quickly and in today's work tempo. Additionally, the effects of oxygenated water used in dynamic extraction on tea quality were determined. The differences between the brewed teas were determined by chemical components and physical properties, which are basic quality indicators. Accordingly, as expected, TP, TF, TR, TF/TR and TB amounts of the tea brewed with the traditional process were the highest, but these values in the tea obtained with oxygenated water at 150. seconds were almost higher than in the non-oxygenated. And the oxygenated water was more effective. Similarly, the positive effect of oxygenated water on total color and brightness values were higher than that of non-oxygenated water. That is, the properties of the brewing water markedly influenced the tea quality. Some concrete data were presented in the present study. However, consumer tastes of teas produced from the black tea brewing process with dynamic solid-liquid extraction have not been evaluated. In future, consumers' tastes in that food process designed for black tea should be revealed through sensory tests.



"X<Z<Y<Y+" sequence shows the differences between the samples (O and OS) at each time and R sample, statistically (p<0.05)



"X<Y<Z" sequence shows the differences between the samples (O and OS) at each time and R, statistically (p<0.05)



"X<Z<Y<Y+" sequence shows the differences between the samples (O and OS) at each time and R sample, statistically (p<0.05)

■ O ■ OS ■ R

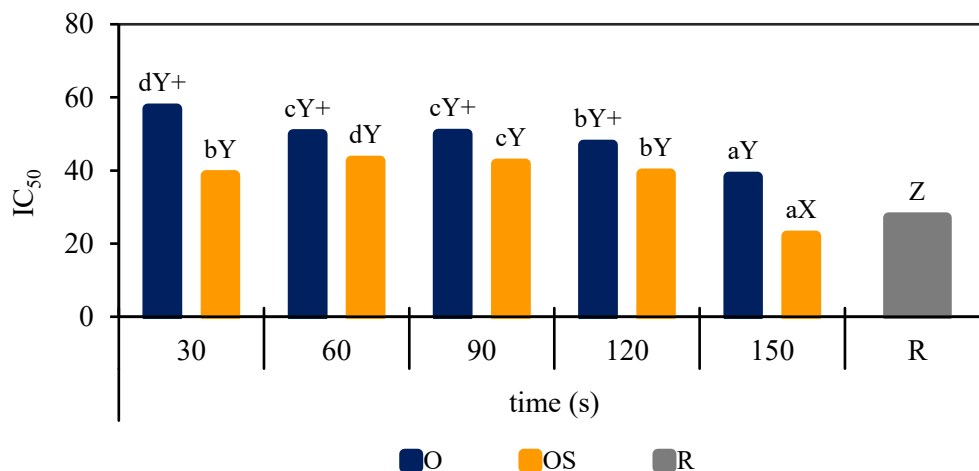
R: black tea prepared with the traditional tea brewing process (Reference sample)

O: black tea produced using oxygenated water by the dynamic tea extraction process

OS: black tea produced using non-oxygenated water by a dynamic tea extraction process

"a-e" series shows the differences between the times of each sample.

Figure 5. Hunter color values of the samples



R: black tea prepared with the classical tea brewing process (Reference sample)
 O: black tea produced using oxygenated water by the dynamic tea extraction process
 OS: black tea produced using non-oxygenated water by a dynamic tea extraction process
 "a-e" series shows the differences between the times of each sample, "X<Z<Y<Y+" sequence shows the differences between the samples (O and OS) at each time and the R sample, statistically ($p < 0.05$).

Figure 6. Antioxidant activities (IC_{50} ; $\mu\text{g/ml}$) of the samples

ACKNOWLEDGEMENTS

The study is a part of the PhD's thesis of KSU and is supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit of KSU University with the project number 2019/2-32 D.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest between them.

REFERENCES

- [1] Y. Xu, F. Qiao, J. Huang. Black tea markets worldwide: Are they integrated? *Journal of Integrative Agriculture*. 21:2 (2022) 552-565.
- [2] FAO, Food Science and Human Wellness. 4:4 (2019) 133-146.
- [3] K. Chang. World tea production and trade Current and future development. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2015.
- [4] A. D. Atasoy, Y. Durmus, A. F. Atasoy. Effects of tea origin, type, concentration and brewing time on essential and trace elements in tea infusion and daily intake by human. *Environmental Engineering and Management Journal*, 23:2 (2024) 309-318.
- [5] Anonymous, Antiviral properties of tea: Black Tea may become the unique brew of choice with no side effects to fight against Corona virus? The Statistical Institute of the Republic of Turkey, Vegetal production statistics. Retrieved in January, 30, 2022 from 2023.
- [6] D. L. McKay, Teas, tisanes and health. *Teas, cocoa and coffee: plant secondary metabolites and health*: 99-142. 2011.
- [7] A. B. Sharangi, Medicinal and therapeutic potentialities of tea (*Camellia sinensis* L.) -A review. *Food Res Int*. 425:6 (2009) 529-535.

- [8] J. Hamilton-Miller, Antimicrobial properties of tea (*Camellia sinensis* L.). *Antimicrobial agents and Chemotherapy*, 39:11 (1995) 2375.
- [9] A. D. Atasoy, M. I. Yesilnacar, A. F. Atasoy. Essential element contents of Turkish black tea. In *Non-alcoholic beverages*, Woodhead Publishing, (2019) 63-72
- [10] A. D. Atasoy, M. I. Yesilnacar, A. Yildirim, A. F. Atasoy. Nutritional minerals and heavy metals in tea infusions and daily intake of human body. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7:2 (2019) 234-239.
- [11] P. Chowdhury, M. E. Sahuc, Y. Rouillé, Theaflavins, polyphenols of black tea, inhibit entry of hepatitis C virus in cell culture. *PLoS One*, 13:11 (2018) 0198226.
- [12] Z. F. Yang, L. P. Bai, W. Huang, Comparison of in vitro antiviral activity of tea polyphenols against influenza A and B viruses and structure-activity relationship analysis. *Fitoterapia*, 93 (2014) 47-53.
- [13] C.N. Chen, C. P. C. Lin, K.K. Huang, Inhibition of SARS-CoV 3C-like protease activity by theaflavin-3,3'-digallate (TF3). *Evid Based Complement Alternat Med*. 2:2 (2005) 209-215.
- [14] J. Lung, Y. S. Lin, Y. H. Yang, Y. L. Chou, L. H. Shu, Y. C. Cheng, H. T. Liu, C.Y. Wu, The potential chemical structure of anti-SARS-CoV-2 RNA-dependent RNA polymerase. *J Med Virol*, 92 (2020) 693-697.
- [15] N. Panigrahi, C. S. Bhol, B.S. Das, Rapid assessment of black tea quality using diffuse reflectance spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 190 (2016) 101-108.
- [16] R. Dutta, Monitoring green leaf tea quality parameters of different TV clones grown in northeast India using satellite data. *Food Chem*. 139 (2013) 689-694.
- [17] J. D. K. Arachchi, M. T. K. Gunasekare, M. A. B. Ranatunga, L. Jayasinghe, R.P. Karunadoga, Analysis of selected biochemical constituents in black tea (*Camellia sinensis*) for predicting the quality of tea germplasm in Sri Lanka. *Trop. Agric. Res*. 23 (2011) 30-41.
- [18] E. Ponce, A. J. Taylor, Phenolic compounds as astringent factors in black tea liquors. *Flavor Chemistry of Ethnic Foods*. Springer, (1997) 197-209.
- [18] Y. Durmus, A. D. Atasoy, A. F. Atasoy. Mathematical optimization of multilinear and artificial neural network regressions for mineral composition of different tea types infusions. *Scientific Reports*, 14:1 (2024) 18285.
- [20] S. Chanioti, G. Liadakis, C. Tzia, Solid-liquid extraction. *Food Engineering Handbook: Food Process Engineering*, 2 (2014) 247-280.
- [21] Z. B. Guzel-Seydim, A. C. Seydim, A. K. Greene, 2021. Effect of brewing method on quality parameters and antioxidant capacity of black tea. *Functional Food Science*, 1:8 (2021) 1-13.
- [22] C. Ma, Y. C. Hung, 2020. Effect of brewing conditions using a single-serve coffee maker on black tea (Lapsang Souchong) quality. *Food Science & Nutrition*, 8:8 (2020) 4379-4387.
- [23] Z. Nikniaz, R. Mahdavi, S. J. Ghaemmaghami, Y. N. Lotfi, L. Nikniaz, Effect of different brewing times on antioxidant activity and polyphenol content of loosely packed and bagged black teas (*Camellia sinensis* L.). *Avicenna J Phytomed*, 6:3 (2016) 313-321.
- [24] J. Oh, H. Jo, A. R. Cho, S. J. Kim, J. Han, Antioxidant and antimicrobial activities of various leafy herbal teas. *Food control*, 31:2 (2013) 403-409.
- [25] A. Parulekar, A. Shinde, S. Rath, P. Shriyan, T. Raut, A. V. Bhonsale, 2016. Design and development of mini tea and coffee machine. *International Journal of Engineering Research*, 5:03 (2016).
- [26] S. Tegeltija, B. Tejić, I. Šenk, L. Tarjan, G. Ostojić, Universal of Vending Machine Management Platform. *International Symposium* 1-5, 2020.
- [27] Quora, Does tea from a vending machine taste different from homemade or shop tea If so why? Retrieved in January 30, 2022 from <https://www.quora.com/>

- [28] M. Škerget, P. Kotnik, M. Hadolin, A. R. Hraš, M. Simonič, Ž. Knez, Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities. *Food chemistry*, 89:2 (2005) 191-198.
- [29] E. A. H. Roberts, R. F. Smith, 1963. The phenolic substances of manufactured tea. IX.—the spectrophotometric evaluation of tea liquors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 14:10 (1963) 689-700.
- [30] R. R. Sokal, F. J. Rohlf, *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research*. 3rd Edition, W.H. Freeman and Co., New York. 1995.
- [31] J. Yu, Y. Liu, S. Zhang, L. Luo, L. Zeng, Effect of brewing conditions on phytochemicals and sensory profiles of black tea infusions: A primary study on the effects of geraniol and β -ionone on taste perception of black tea infusions. *Food Chemistry*. 354 (2021)129504.
- [32] M. Y. Chang, Y. Y. Lin, Y. C. Chang, W. Y. Huang, W. S. Lin, C. Y. Chen, Y. S. Lin, Effects of infusion and storage on antioxidant activity and total phenolic content of black tea. *Applied Sciences*, 10:8 (2020) 2685
- [33] H. Kelebek, 2016. LC-DAD–ESI-MS/MS Characterization of Phenolic Constituents in Turkish Black Tea: Effect of Infusion Time and Temperature. *Food Chemistry*, 204 (2016) 227-238.
- [34] F. Özdemir, M. Karkacier, Bazı siyah ve yeşil çayların kimyasal bileşimi ve ekstraksiyon verimi. *Ekonomik ve Teknik Dergi*, (1997) 86-91.
- [35] S. Salman, N. Azarabadi, F. Ozdemir, Siyah çay harmanında partikül boyutu ve demleme süresinin dem özellikleri üzerine etkisi. *Gıda*, 44:3 (2019) 442-452.
- [36] Ü. Karaküçük, Farklı içme sularının siyah çay dem kalitesi üzerine etkisi. Master's Degree Thesis. Akdeniz University. 2018.
- [37] A. Efe, Siyah çayların farklı demleme sürelerine göre kimyasal bileşiminin araştırılması Phd. Dicle University. 2017.
- [38] E. Haslam, Thoughts on thearubigins. *Phytochemistry*, 64:1 (2003) 61-73.
- [39] Ş. Pan, Siyah Çay Üretiminde Farklı Aşamalarında Çayın Bileşiminde Oluşan Değişimler Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi. Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Adana. 60s. 2020.
- [40] H. Jiang, W. Xu, Q. Chen, Evaluating aroma quality of black tea by an olfactory visualization system: Selection of feature sensor using particle swarm optimization. *Food Research International*, 126 (2019)108605.
- [41] L. Xu, G. Xia, Z. Luo, S. Liu, UHPLC Analysis of Major Functional Components in Six Types of Chinese Teas: Constituent Profile and Origin Consideration. *LWT-Food Science and Technology*, 102 (2019) 52-57.
- [42] E. R. Scott, X. Li, N. Kfoury, J. Morimoto, W. Y. Han, S. Ahmed, C. M. Orians, Interactive effects of drought severity and simulated herbivory on tea (*Camellia sinensis*) volatile and non-volatile metabolites. *Environmental and Experimental Botany*, 157 (2019) 283-292.
- [43] Y. Hara, S. J. Luo, R. L. Wickremashinghe, T. Yamanishi, 1995. Tea-Aroma, Taste, Color and Bioactive Constituents. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5:11 (1995) 2110.
- [44] S. Nas, M. Öksüz, Siyah Çayda Kalite. *Gıda*, 12:3 (1987) 157-162.
- [45] E. S. Poyrazoğlu, Ö. L. Gürses, Çay deminin bileşimine etkili bazı faktörler üzerinde araştırma. *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 17 (2004) 38-45.
- [46] B. Kacar, Çayın Biyokimyası ve İşleme Teknolojisi. Çay-Kur Yayınları, 6 (1987) 1-71.
- [47] C. X. Peng, J. Liu, H. R. Liu, H. J. Zhou, J. S. Gong, Influence of different fermentation raw materials on pyrolyzates of Pu-erh tea theabrownin by Curie-point pyrolysis-gas chromatography–mass spectroscopy. *International Journal of Biological Macromolecules*, 54 (2013) 197-203.

- [48] F. Özdemir, Siyah çay imalatında kıvrırma teknolojisi ve dikkat edilecek hususlar. *Gıda dergisi*, 17:1 (1992) 73-79.
- [49] M. Obanda, P. O. Owuor, R. Mang'oka, M. M. Kavoi, Changes in thearubigin fractions and theaflavin levels due to variations in processing conditions and their influence on black tea liquor brightness and total colour. *Food Chemistry*, 85:2 (2004) 163-173.
- [50] Y. Zou, G. N. Qi, T. Xu, S. X. Chen, T. T. Liu, Y. F. Huang, Optimal extraction parameters of theabrownin from Sichuan dark tea. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 13:3 (2016) 191-196.
- [51] T. Muthumani, R. S. Kumar, Influence of fermentation time on the development of compounds responsible for quality in black tea. *Food Chemistry*, 101:1 (2007) 98-102.
- [52] N. Kuhnert, Unraveling the structure of the black tea thearubigins. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 501:1 (2010) 37-51.
- [53] U. H. Engelhardt, Chemistry of tea. *Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. Encyclopedia Elsevier Inc. 2013.
- [54] M. Weerawatanakorn, J. C. Wu, M. H. Pan, C. T. Ho, Reactivity and stability of selected flavor compounds. *Journal of Food and Drug Analysis*, 23:2 (2015) 176-190.
- [55] S. Sang, Tea: Chemistry and processing. *Encyclopedia of food and health*. (2016) 268-272.
- [56] L. Zhang, C. T. Ho, J. Zhou, J. S. Santos, L. Armstrong, D. Granato, Chemistry and biological activities of processed camellia sinensis teas: A comprehensive review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 18 :5 (2019) 1474-1495.
- [57] W. Koch, Theaflavins, thearubigins, and theasinensins. *Handbook of Dietary Phytochemicals*, (2020) 1-29.
- [58] Y. Zou, G. N. Qi, T. Xu, S. X. Chen, T. T. Liu, Y. F. Huang, Optimal Extraction Parameters of Theabrownin from Sichuan Dark Tea. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 13:3 (2016) 191-196.
- [59] J. S. Gong, Q. Zhang, C. X. Peng, J. P. Fan, W. M. Dong, Curie-point pyrolysis–gas chromatography–mass spectroscopic analysis of theabrownins from fermented Zijuan tea. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 97 (2012) 171-180.
- [60] Q. Q. Cao, F. Wang, J. Q. Wang, J. X. Chen, J. F. Yin, L. Li, Y. Q. Xu, Effects of brewing water on the sensory attributes and physicochemical properties of tea infusions. *Food Chemistry*, 364 (2021) 130235.
- [61] Y. Q. Xu, C. Zou, Y. Gao, J. X. Chen, F. Wang, G. S. Chen, J. F. Yin, Effect of the Type of Brewing Water on the Chemical Composition, Sensory Quality and Antioxidant Capacity of Chinese Teas. *Food Chemistry*, 236 (2017) 142-151.
- [62] S. Wang, Z. Li, Y. Ma, Y. Liu, C. C. Lin, S. Li, C. T. Ho, Immunomodulatory effects of green tea polyphenols. *Molecules*, 26:12 (2021) 3755.
- [63] O.T. Balaban, Siyah çay üretiminde, çayın bazı fizikokimyasal ve biyoaktif özelliklerinin araştırılması. Master's Degree Thesis. Bayburt University. 2019.
- [64] Y. Liu, L. Luo, C. Liao, L. Chen, J. Wang, L. Zeng, Effects of brewing conditions on the phytochemical composition, sensory qualities and antioxidant activity of green tea infusion: A study using response surface methodology. *Food Chemistry*, 269 (2018) 24-34.
- [65] P. Kadiroğlu, S. Dıblan, Comparison of bioactive and antimicrobial properties of black and green teas. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 32:1 (2017) 13-18.
- [66] H. Kelebek, LC-DAD–ESI-MS/MS characterization of phenolic constituents in Turkish black tea: Effect of infusion time and temperature. *Food Chemistry*, 204 (2016) 227-238.

- [67] J.A. Vignoli, D. G. Bassoli, M. T. Benassi, Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: The influence of processing conditions and raw material. *Food Chem.* 124 (2011) 863-868.
- [68] X. Duan, T. Liu, D. Zhang, X. Su, H. Lin, Y. Jiang, Effect of pure oxygen atmosphere on antioxidant enzyme and antioxidant activity of harvested litchi fruit during storage. *Food Research International.* 44:7 (2011) 1905-1911.