



SAYI/ ISSUE 53
OCAK/JANUARY 2023

EUROPEAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi



E-ISSN 2148-2683

<https://dergipark.org.tr/en/pub/ejosat>

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ
Editor-in-Chief and Editor

Prof. Dr. Hüseyin TOROS
Editor

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN
Editor

Editorial Board Members

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ
Subjects: Food Sciences and Engineering
Institution: Yildiz Technical University

Prof. Dr. Hüseyin TOROS
Subjects: Engineering
Institution: Istanbul Technical University

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN
Subjects: Environmental Sciences and
Engineering, Geological Sciences and Engineering, Civil
Engineering
Institution: Yildiz Technical University

Prof. Dr. Osman TAYLAN
Subjects: Energy Systems Engineering, Machine
Learning, Quality Management, Artificial
Intelligence, Multiple Criteria Decision Making, Fuzzy Logic
Institution: Department of Industrial Engineering, Faculty of
Engineering, King Abdulaziz University.

Prof. Dr. Tuncay GÜMÜŞ
Subjects: Food Sciences and Engineering
Institution: Namık Kemal University

Assoc. Prof. Dr. Juliana JALALUDIN
Subjects: Air Pollution and Control, Environmental Sciences
and Engineering
Institution: Universiti Putra Malaysia, Faculty of Medicine
and Health Sciences, Department of Environmental and
Occupational Health

Asst. Prof. Dr. Abdulatef AHMED
Subjects: Meat Technology
Institution: Aljfarah University

Prof. Dr. İskender AKKURT
Subjects: Physics, Computer Sciences and Engineering
Institution: Suleyman Demirel University

The European Journal of Science and Technology (EJOSAT) is a scientific and peer-reviewed journal published online four times in January, April, August, and November. The European Journal of Science and Technology is scanned in indexes such as Scilit, Index Copernicus, CiteFactor, International Innovative Journal Impact Factor, Eurasian Scientific Journal Index, SJIFactor, DRJI, Scientific Indexing Services and Google Scholar.



İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

Basit Harmonik Harekete Sahip Kam Profilinin Aşınma Modeli

İlknur Keskin

Sayfa: 1 - 11

A Research on Sources of Heavy Metal and Organic Matter Pollution of Recent Sediments in Northwestern Marmara Sea and Precautions to be Taken

Abdullah Yinanç

Sayfa: 12 - 24

Mucilage Hazard on the Marmara Sea Coasts Between Tekirdağ and Istanbul

Melike Önce, Sevil Yılmaz

Sayfa: 25 - 31

Kandıra Peynirinin Kontrollü Şartlarda (Fabrika Şartlarında)Yapımı ve Farklı Kızartma Ortamlarının Kandıra Peynir Örneklerinin Mikrobiyolojik, Fiziksel, Kimyasal ve Duyusal Özelliklerine Etkisi

Özgül Çinici, Salih Özdemir

Sayfa: 32 - 42

Biyomimetik Mimarlıkta Ekomimikri ve Orman Kurma Metaforu

İdris Oğurlu, Betül Uç

Sayfa: 43 - 57

Video Altyazılama için Önceden Eğitilmiş 3B-CNN'lerden Yararlanma

Bengü Fetiler, Özkan Çaylı, Volkan Kılıç

Sayfa: 58 - 63

Stevia ile Tatlandırılmış Meyveli Dondurmanın Kalitesi

Feray İnci Maden, Salih Özdemir

Sayfa: 64 - 70

Gezgin Hırsız Problemi için Matematiksel Model ve Genetik Algoritma

Kübra Yıldırım, Muzaffer Kapanoğlu

Sayfa: 71 - 83

Evaluation of Risk Factors Causing Occupational Accidents in the Textile Sector Using Data Mining Methods

Büşra Tunçman, Tülin Gündüz, Duygu Yılmaz Eroğlu

Sayfa: 84 - 96

Türkçe Nefret Söylemi Problemi Analizinde Farklı Sınıflandırma Algoritmalarının ve Özellik Seçimi Yöntemlerinin Performans Karşılaştırması

Özlem Yakar, Büşra Büyüktanır, Abdullah Emir Çil, Ayşe Berna Altinel Girgin

Sayfa: 97 - 111

Guidance and Control of a Short-Range Air-to-Surface Missile Using an Angle-Based Switched Guidance Approach

Bülent Özkan, Harun Gökçe

Sayfa: 112 - 125

Bitki Gelişimini Teşvik Eden Bazı Bakterilerin Kıvrıkcık Salata (Lactuca sativa L. var. crispa) Fidesi Üzerine Etkisinin Araştırılması

Abdulkadir Yusuf Hussein, Kenan Sönmez

Sayfa: 126 - 133

Ayrık Dalgacık Dönüşümü ve Welch Yöntemini Kullanarak EEG Sinyallerinden Zihinsel İş Yükünün Derin Öğrenme ile Tespiti

Hüseyin Can Ay, Osman Çetin, Şükrü Kitiş

Sayfa: 134 - 139

Fotovoltaik Sistemler için Maksimum Güç Noktasının İzlenmesinde Değiştir ve Gözlemlen (P&O) ve Artan İletkenlik Algoritmalarının (InC) Deneysel Analizi

Mustafa Şeker, Talha Tan, Sinem Melike Turan

Sayfa: 140 - 149

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

DDoğal-Ekolojik Üç Yapı Malzemesi Taş-Kerpiç-Ahşap İçin Sürdürülebilirlik Analiz Modeli
İdris Oğurlu

Sayfa: 150 - 167

The effect of crump weir's geometry changes on hydraulic flow characteristics: A review
Arwa Mola, Ahmed Y. Mohammed

Sayfa: 168 - 175

Sinyalize Bir Kavşakta Simülasyon Tabanlı Fizibilite Çalışması Yeşilova Kavşağı Örneği
Süleyman Saraç, Leyla Suri

Sayfa: 176 - 188

Düzeltilme Makalesi: Endüstri 4.0'ın Uygulanmasında Kritik Başarı Faktörlerinin Belirlenmesi ve Aralık
Tip-2 Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Yatırım Teşviği Alan Firmaların Durum Değerlendirilmesi

Damla Çevik Aka

Sayfa: 189 - 190

Düzeltilme Makalesi: Endüstriyel Atık Geri Dönüşümünde Etkili Olan Karar Kriterlerinin BWM ile
Değerlendirilmesi: Plastik, Cam ve Çelik Endüstrisinde Uygulama

Damla Çevik Aka

Sayfa: 191 - 192

Geri Çekme Makalesi: Aşı Okuryazarlığı ve Covid-19 Pandemisinde Yaşama Yansıyan Tereddüt, Aşı
reddi ve Aşı Karşıtlığı Üzerine Bir Araştırma

Culsah Kınalı, Betül Kübra Örgen, Cemil Örgen, Bayram Topal, Hasan Şahin

Sayfa: 193 - 194



Basit Harmonik Harekete Sahip Kam Profilinin Aşınma Modeli

İlknur Keskin Öner^{1*}

^{1*} Yıldız Technical University, Faculty of Naval Architecture and Maritime, Department of Marine Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1584-4479), keskin@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 6 Aralık 2023 ve Kabul Tarihi 29 Aralık 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10442182)

ATIF/REFERENCE: Keskin Öner, İ. (2024). Basit Harmonik Harekete Sahip Kam Profilinin Aşınma Modeli. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (53), 1-11.

Öz

Makine sistemi içinde ömür tahmini, dizayn açısından teknik ve maddi kayıplardan dolayı oldukça önemlidir. Birbirine sürtünen yüzeylerin aşınması elemanın ömür süresini kısaltan önemli bir parametredir. Aşınma sıradan bir olay olmasına rağmen aşınmanın teorisi ve mekanizması, malzeme özellikleri, hız, pürüzlülük, yağlama, yük v.s. gibi sınır şartlarını kapsayan karmaşık bir yapıdır. Ancak bu kadar çok bileşeni bir matematik model üzerinde sisteme dahil etmek mümkün değildir. Literatürde, kam yüzeyinde atalet kuvvetini ihmal edebilmek adına, kamın hızının ve sistemin kütlelerinin sınırlı tutularak sadece yay kuvvetinin modele dahil edildiği analitik ve deneysel sonuçları kapsayan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada ise, kam mekanizmasını etkileyen yay kuvveti ve izleyicinin ivmelenmesinden doğan atalet kuvvetleri de modelleme çalışmasına dahil edilmiştir. Archard'ın, aşınmanın yük ile ilişkisini ortaya koyan ve aşınma derinliğini veren denklemi mevcut çalışmanın temelini oluşturmuştur. Kurulan matematik model için belirlenen kamın devir sayıları, PTFE (Teflon) olarak belirlenen kam malzemesi ve toplam tur sayısı için kurulan deney düzeneğinde aşınma işlemi yapılmıştır. Daha sonra aşınmış profil üzerinden CMM (koordinat ölçüm makinesi) yardımıyla ölçüm alınarak, kamın üzerinde her 5° lik noktalarda aşınma derinlikleri belirlenmiştir. Matematik model ile tahmin edilen aşınma derinlikleri, deneysel olarak gözlemlenen sonuçlar ile kıyaslanmış ve modelin güvenilir olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, Kam, Aşınma Katsayısı.

Wear Modeling of Cam Profile with Simple Harmonic Motion

Abstract

Life estimation within the machine system is very important in terms of design due to technical and financial losses. Wear of surfaces rubbing against each other is an important parameter that shortens the life of the element. Although wear is an ordinary phenomenon, the theory and mechanism of wear is affected by material properties, speed, roughness, lubrication, load, etc. However, it is not possible to include such a multi-component mathematical model into the system. In the literature, there are studies containing analytical and experimental results in which only the spring force is included in the model, keeping the speed of the cam and the mass of the system limited in order to neglect the inertial force on the cam surface. In this research, the spring force affecting the cam mechanism and the inertia forces arising from the acceleration of the follower were also included in the modeling study. Archard's equation, which reveals the relationship between wear and load and gives the wear depth, formed the basis of the current study. Wearing process was carried out in the experimental setup established for the number of revolutions of the cam determined for the mathematical model, the cam material determined as PTFE (Teflon) and the total number of revolutions. Then, measurements were taken on the worn profile with the help of CMM (coordinate measuring machine) and the wear depths were determined at every 5° points on the cam. The wear depths predicted by the mathematical model were compared with experimentally observed results and the model was found to be reliable.

Keywords: Wear, Cam, Wear Coefficient.

* Sorumlu Yazar: keskin@yildiz.edu.tr

1. Giriş

Aşınma ve buna bağlı olarak sistem içindeki elemanların aşınma periyotlarının tahmini üzerine pek çok çalışma yapılmıştır ve halen üzerinde çalışılmaya devam edilmektedir. Ancak bu çalışmaların çoğu, üzerinde çalışılan sisteme özeldir. Bunun sonucunda da burada elde edilen sonuçlar, başka bir sistem üzerinde başarılı olamayacaktır. Şartların değiştiği durumları kapsayacak genellemeler yapılamayacaktır. Aşınma çalışmalarının bu özelliği nedeniyle, aşınmayı etkileyen parametrelerde çeşitlilik çok fazladır. Bu konuda çalışanların ortak olarak kullanabilecekleri bir model ya da kabul mümkün olamamakta her çalışma kendine özel sonuçlar verebilmektedir. Bu konuda yapılabilecek tek genelleme yapılan çalışmaların mekanik sisteme bağlı olması ve sonuçların deneylerle desteklenebilmesidir. Parametre olarak yalnız malzeme, yağlayıcı çeşidi ya da buradaki aşınma mekanizmasının ön plana çıktığı araştırmaların sonucunda bir genelleme yapılamamaktadır.

Cheng vd., (1994), kam ve izleyici aşınmasının malzeme, yük ve hız parametrelerini öne çıkardığı çalışmasında, sistemde meydana gelen arızaların en etkili sebebinin yüzey yorulması olduğunu tespit etmiştir. Fries ve Rogers (1988), izleyici ve kam temaslarında aşınmayı basit mekanizmalara dönüştürecek çalışmalar yapmışlardır. İzleyicinin devir sayısını dikkate almamışlardır. Standart Hertzian teorisine yakın bir yöntemle basıncı hesaplamışlardır.

1994'de Michigan Üniversitesinde, Heisen-Chung tarafından yapılan doktora tezinde, 1957 ve 1992 yılları arasındaki aşınma denklemlerini içeren toplam 5325 araştırmacı tarafından kaleme alınmış 5466 modelleme çalışması incelenmiş, buradaki denklemler 2 başlık halinde toparlanmış, yüz seksen iki adet aşınma denklemi üzerinde çalışıldığı görülmüştür.

Hugnell ve Andersson (1994), kam ve izleyici arasındaki aşınmayı kamın devir sayısının bir fonksiyonu olarak ortaya koymuşlardır. Soejima vd. (1994:23), sürtünme ve aşınma üzerine yaptıkları çalışmada, etkili olan yükün, devir sayısının, yağlayıcı ve malzeme çeşidinin etkisini ortaya koyan bir araştırma yapmışlardır. Shigley ve Uicker (1995), temel mekanizmalar için kayma hızı, yerdeğiştirme ve normal yükleri içeren değişkenlere bağlı olarak aşınmayı tahmin edebilmeyi sağlayacak çalışmalar yapmışlardır. Blanchet (1997:119), basit bir mekanizma için aşınmanın çizgi değme boyunca analitik bir ifade üzerinde çalışmışlardır.

Son yıllarda Archard'ın aşınma denklemini temel alacak şekilde sonlu elemanlar metodunu içeren oldukça fazla simülasyon çalışmaları yapılmaktadır.

Podra ve Andersson (1999:32), Podra ve Andersson (1999:224), bir düzlem üzerindeki pim aşınmasını tahmin edebilmek adına sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır.(Michalski vd. (2000:240), kam ve izleyici aşınmasını malzeme özellikleri parametresi üzerinden yapmışlardır.Dickrell vd. (2003) dairesel profilli bir kamın aşınmasını deneysel ve matematik bir model kurarak incelemiş, model ve deney sonuçları arasındaki farkı yüzdesel olarak ortaya koymuşlardır. Aşınmayı atalet kuvveti bileşenini ihmal ederek sadece kam üzerinde etkili yay kuvveti ve kamın devir sayısı bileşeni açısından ele almışlardır. Kurulan matematik model Archard'ın aşınma denklemi esasına dayanmıştır.

Nayak vd. (2006), dizel motorlarda kullanılan kam ve izleyicilerin aşınma tahminini mekanizmaya ait kinematik ve dinamik denklem ilişkilerini kullanarak oluşturdukları matematik model ile yapmışlardır.

Bilimsel yaklaşımlarda, aşınma derinliği, aşınma hacminden çok daha fazla ilgi görmektedir. Bu nedenle (Archard,1980), aşağıdaki eşitliğin her iki tarafını görünen değme alanına bölmeyi tavsiye etmiştir.

$$\frac{V}{s.A} = \frac{h}{s} = k \cdot \frac{F_N}{H.A} = K \cdot p$$

h aşınma derinliğini (m), K boyutlu aşınma katsayısını (Pa⁻¹), p normal değme basıncını (Pa), ve s kayma mesafesini (m) ifade etmektedir.

Sawyer (2003:57), basit bir kam ve izleyici çifti için, Archard'ın aşınma sabitini kullanarak, değmenin koordinat eksenini (s) boyunca basınç dağılımının p_s ile verildiği iki boyutlu çizgi değme şeklinde hareket eden diferansiyel bir eleman için aşınma derinliğinin artış değeri için bir ifade geliştirdi. Bu ifade denklem 2 eşitliğinde verildi. K Archard aşınma sabiti, L değmenin uzunluğu, b genişliği, F_n ise normal yüküdür.

$$\frac{dh}{ds} = K \cdot p_s \quad (1)$$

$$dh = K \cdot p_s \cdot ds$$

$$h = K \cdot \int_0^L p_s \cdot ds = K \cdot \frac{F_n}{b} \quad (2)$$

2. Materyal ve Metot

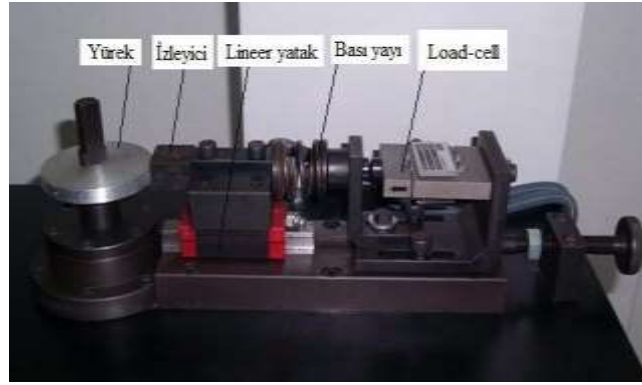
2.1. Test Düzenegi

Kam ve izleyici aşınma test düzenegi, aşınma mekanizmasının yük ve hız bileşeni ile olan ilişkisini ortaya koymak için geliştirilmiştir. Bu düzenegin detayı Şekil 1'de gösterilmiştir. Kam profili PTFE malzemeden imal edilmiştir. Bu çalışma için imal edilen dairesel kam 40 mm yarıçapa, 6 mm kaçıklığa ve 10 mm kalınlığa sahiptir. İzleyici ise, kamın aşınma miktarının izleyici aşınmasına oranla çok daha fazla olması için HSS çeliğinden imal edilmiştir. Kamın aşınmasını sağlayacak olan izleyici yüzeyinin arkasına gerekli

ön yükleme kuvvetini sağlamak için 20 N/mm yay katsayısına sahip olan bir bası yayı yerleştirilmiştir. Kamın izleyici ile ilk teması, kam yarıçapının 34 mm olarak minimum değere sahip olduğu, yani izleyiciye en yakın nokta olan ve kamın dönmeye başladığı ve üzerinde 0° olarak işaretlediğimiz bölge üzerindedir. Kam harekete başlamadan önce, kam üzerinde 0° olarak işaretlediğimiz noktaya etki edecek şekilde bir yay vasıtasıyla 30 N'luk bir ön yükleme kuvveti tatbik edilmiştir. Bu nedenle, yay kuvveti, kamın ilk turu boyunca kabaca 30 N ila 270 N arasında değişmektedir. Elektrik motoru 1365 d/dk hıza sahiptir ve bir inverter sayesinde devir sayıları değiştirilebilmektedir.

Lineer yatak sistemi ve izleyicinin toplam kütlesi 1274 gr'dır. Kurulan matematik model üzerinde etkili olan kuvvet parametresinin içinde atalet kuvvetinin de etkili olabilmesi için kütle sınırlandırılmamış ve kamın devir sayısı da 350 d/dak, 1000 d/dak olacak şekilde aşınma testi tekrarlanmıştır. HSS (yüksek hız çeliği) çeliğinden imal edilmiş izleyici üzerindeki PTFE kam numunesi için aşınma oranı (K) deneysel olarak pin-on-disk aparatında 10 cm/sn lik kayma hızı altında ve ortalama 10 MPa'lık değme basıncında deneysel olarak $18,02 \times 10^{-4} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$ tespit edilmiştir.

Kam ve onunla temas halindeki izleyici malzemesinin sertlik farkı, maksimum düzeyde seçilmiş, bu sayede aşınma miktarı artırılmış ve izleyici üzerindeki aşınma dikkate alınmamıştır. Amaç kam profilinin belli bir devir sayısı için, belirlenen tur sayıları sonunda oluşan ortaya çıkacak aşınma ürünü profillerine ulaşmaktır.



Şekil 1. Test düzeneği

Figure 1. The experimental setup

2.2. Aşınmanın Modellenmesi

Aşınma sıradan bir olay olmasına rağmen aşınmanın teorisi ve mekanizması, malzeme özellikleri, hız, pürüzlülük, yağlama, yük v.s. gibi sınır şartlarını kapsayan karmaşık bir yapıdır. Aşınma konusunda üzerinde araştırma yapılmış çok fazla çalışma vardır. Ancak malzeme, hız ve yük sabitlerini içeren kompleks durumlar için, burada oluşturulan modeller yeterli değildir, genele uygulanamaz ve üzerinde çalışılan sisteme bağlıdır. Aşınma parametrelerindeki bu çeşitlilik, aşınma modellerinde de yapılan yaklaşım sayısını arttırmıştır. Bundan dolayı araştırmacılar kendi aralarında uzlaşmamakta ve üzerinde çalıştıkları sistem için geçerli modeller geliştirmektedirler. Tüm bu bahsi geçen mevzulardan dolayı modelleme araştırmaları mekanik sisteme bağlı olmalıdır.

Malzemelerin genel olarak aşınmalarını ölçmek zor ve karmaşıktır. Aşınma olgusunun yük, hız, malzeme ve daha pek çok parametre ile ilişkili olması, anlaşılır ve sınıflandırılabilir olmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmalar sadece bir iki değişen parametreye bağımlı olmaktadır. İfade edilmeye çalışılan bu zorluklardan dolayı triboloji alanında çalışan uzmanlar aşınma haritaları yöntemini geliştirmişlerdir. (Özmen,2004).

Aşınmada dinamik bir olguda olduğu gibi parametre çeşitliliğine bağlı olarak bazı tahminler yürütmek için aşınma oranı olarak birim kayma mesafesine düşen aşınma derinliği olarak ifade edilebilir (Soejima vd., 1994:23).

$$\frac{dh}{ds} = f(\text{yük, hız, sıcaklık, malzeme, yağlayıcı ...})$$

Aşınma derinliği (m) h ve kayma mesafesi de s (m) ile ifade edilmiştir. Literatürde birçok aşınma modeli kullanılmıştır. Bunların matematiksel ifadeleri basit ampirik ilişkilerden, fiziksel kavram ve tanımlamalara dayanan karmaşık denklemler şeklinde sınıflandırılabilir (Halling,1983:105), (Hutchings,1992). Üzerinde kurulan sisteme bağlı olarak sonuçlar verir. Sistem değiştiğinde geçerliliğini korumaz. Bu modellerin sadece bir kısmı pratik olarak aşınmayı tahmin etmede etkindir.

2.2.1. Aşınma Haritalarının Elde Edilmesinde Kullanılan Parametreler

Lim ve Ashby (1987), çelik malzemeler için oldukça kapsamlı bir aşınma sınıflandırmasını, geniş kapsamda kayma hızları ve yükler için vermişlerdir. Oluşturulan bu aşınma haritalarında etkili olan parametrelerden alınan sonuçlar normalize edilmiştir. Gerçek uygulamalarda ise aşınma değerlerinin kabul görür değerleri logaritmik olarak bir derece düşüktür ve bu da gerçekte 10 kat daha düşük olduğunu sonucunu verir (Özmen,2004).

Boyutsuz aşınma oranı $\tilde{\theta}$, boyutsuz normalize edilmiş basınç \tilde{p} ve boyutsuz normalize edilmiş hızın \tilde{v} bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Halling, 1983:105).

$$\tilde{\theta} = \frac{V}{A.s} , \quad \tilde{p} = \frac{F_N}{A.H} v \quad \tilde{v} = \frac{v.r_0}{a_0} \quad (3)$$

Burada aşınma hacmini v (m^3), değme alanını A (m^2), ve değme yarıçapı r_0 (m), normal yük F_N (N), değme noktasındaki daha yumuşak malzemenin sertliği H (N/ m^2), v bağlı kayma hızı (m/sn) ve a_0 malzemenin termal yayılımı (m^2/sn) olarak tanımlanmıştır. Ani sıcaklıklar aşınmada önemli rol oynar, ısı dağılım katsayısı $\alpha_{12}=0,5$ alınır. Ani değme sıcaklığı olan $700^\circ C$ 'nin üstünde ise oksidonal aşınma mekanizması hakim olacaktır. Bu sıcaklık limitinin altında aşınma kanununun yük ile lineer ilişkili, hızdan ise bağımsız olduğu kanıtlanmıştır.

En sık kullanılan lineer aşınma denkleminde $\tilde{\theta}=k \cdot \tilde{p}$, aşınma hacmi normal yüke orantılıdır. Denklem 3 den

$$\tilde{\theta} = k \cdot \tilde{p} \quad \frac{V}{A.s} = k \cdot \frac{F_N}{A.H}$$

Buradan

$$\frac{V}{s} = k \cdot \frac{F_N}{H} \quad (4)$$

Aşınma katsayısı k teori ve deneyler arasında tutarlılık sağlamak için tanımlanmış bir katsayıdır.

Bununla beraber özel bir değme için k 'nın gerçek değeri genellikle deneysel olarak tanımlanır ve daima 1'den daha küçüktür.

Mühendislik yaklaşımlarında aşınma derinliği, aşınma hacminden daha ilgi çekicidir. (Archard,1980) denklem 4' ün her iki tarafını görünen değme alanına bölmeyi önerir.

$$\frac{V}{s.A} = \frac{h}{s} = k \cdot \frac{F_N}{H.A} = K \cdot p \quad (5)$$

Burada h aşınma derinliği (m), K boyutlu aşınma katsayısı (Pa^{-1}) ve p normal değme basıncı (Pa), s kayma mesafesi (m) dir.

Sawyer (2003:57), basit bir kam ve izleyici çifti için, Archard'ın aşınma sabitini kullanarak, değmenin koordinat eksenini (s) boyunca basınç dağılımının p_s ile verildiği iki boyutlu çizgi değme şeklinde hareket eden diferansiyel bir eleman için aşınma derinliğinin artış değeri için bir ifade geliştirdi. Bu ifade denklem 6 eşitliğinde verildi. K Archard aşınma sabiti, L değmenin uzunluğu, b genişliği, F_n ise normal yüküdür.

$$\frac{dh}{ds} = K \cdot p_s$$

$$dh = K \cdot p_s \cdot ds$$

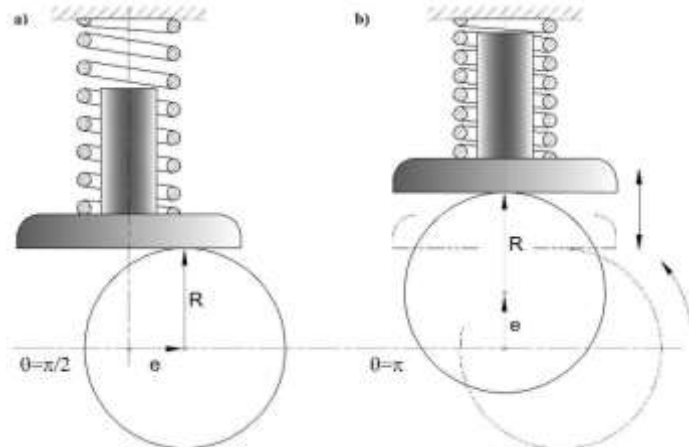
$$h = K \cdot \int_0^L p_s \cdot ds = K \cdot \frac{F_n}{b} \quad (6)$$

2.2.2. Analitik Model

Bu modelleme çalışmasında düz yüzeyli bir izleyici ve onunla temaslı olarak dönen kaçık merkezli bir dairesel kamın aşınma periyodu normal yük ve hız değişkeninin etkili olduğu şartlar altında analitik olarak yapıldı ve aynı şartlardaki deney sonuçlarıyla kıyaslandı. Kamın geometrik merkezi R yarıçaplı daire olup dönme merkezi geometri merkezinden e mesafesi kadar kaçıktır ve kam genişliği $b=10$ mm dir. Aşınmanın sadece kam tarafında olacağı kabul edilmiş ve izleyicinin aşınması dikkate alınmamıştır. Devir sayısı için değme şartları, sabitlenmiş koordinat sistemine uyacak şekilde açılmal koordinatlar kullanılarak ifade edilecektir.

Eksantrik dairesel kam ile düz yüzeyli izleyici için kapalı denklem 7' de ve Şekil 3 de gösterildiği gibidir.

$$\vec{p} = \vec{e} + \vec{R} = e \cdot \cos \theta \cdot i + e \cdot \sin \theta \cdot j + R \cdot j \quad (7)$$



Şekil 2. Matematik model için kamın 90 ve 180 döndürülmüş konumları (a) aşınma kam yarıçapı boyunca ilerler (b) aşınma kam yarıçapı ve kaçıklık vektörü toplamı boyunca ilerler

Figure 2. Two configuration examples for the analytical model (a) wear progresses along the cam radius (b) wear progresses along the cam radius and eccentricity vectors

Bu denklemde \vec{p} vektörü kamın dönme merkezinden izleyici üzerindeki değme noktasıdır. \vec{e} vektörü dönme merkezinden kamın geometri merkezinedir ve \vec{R} ise geometri merkezinden izleyici üzerindeki değme noktasına olan radyal kuvvettir. Dairesel kam için varsayımlar bütün kam yüzeyi için aşınmanın kam üzerinde iki özel yerde tanımlanacağı şeklindedir. Bu özel noktalar Şekil 3’de görüldüğü gibi $\theta = \pi/2$ ve $\theta = \pi$ dir. Önceki çalışmaların modellerinde kam üzerindeki her yerdeki aşınma derinliği değme çizgisinden içe doğru dik olarak ifade edilmiştir. $\theta = \pi/2$ için yay yerdeğiştirmesi d_0 olarak ve yay kuvveti $F_{yay} = k \cdot d_0$ olarak belirtilir. Ancak bu d_0 ifadesinin içinde başlangıçta yaya verilen ön yükleme neticesindeki sıkışma miktarı da vardır. Aşınma derinliği çizgisi için kullanılan ifade $h_1 = K \cdot F_n / b$, $\theta = \pi/2$ de ilk ve ikinci devir aşınma derinliği, kamın izleyiciye yaptırdığı hareketin basit harmonik olması durumunda denklem 13 ve 17 de verilmiştir. Buradaki F_n ifadesi en genel yaklaşımdır. Kamın izleyiciye yaptırdığı harekete bağlı olarak d_0 ve a ile ifade ettiğimiz ivme değerleri her durum için şekillenecektir.

(Dickrell vd., 2003:125) kendi çalışmalarında toplam normal kuvvet içindeki atalet kuvvetini, aşınma denklemini amprik olarak daha kolay genelleyebilmek adına ihmal edebilmek için deney şartlarını sınırlamışlar ve bu sayede 0,5 N luk atalet kuvvetini ihmal etmişlerdir. Burada ise kütle ve hız sınırlandırılması yapılmamış ve atalet kuvveti de matematik modele dahil edilmiştir.

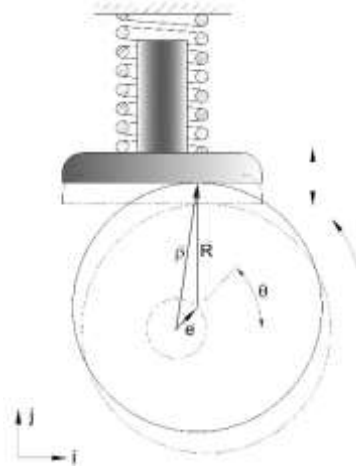
Yüreğe etkiyen normal kuvvetlerin toplamı, yaya başlangıçta sıkışma olarak verilen ön yükleme kuvveti $F_{ön} = k \cdot d$, yay kuvveti $k \cdot s$ ve atalet kuvveti $m \cdot a$ olarak, Denklem 8’ de verilmiştir.

$$F_n = F_0 + k \cdot s + m \cdot a \quad (8)$$

Kamın ilk tam turu sonunda ortaya çıkan aşınma derinliği Denklem 6’daki F_n ifadesinin yerine (8) eşitliğinin yazılması sonucu Denklem 9’daki gibi yazılabilir.

$$h_1 = K \frac{F_0 + k \cdot s + m \cdot a}{b} \quad (9)$$

Burada kuvvet bileşenini oluşturan yay ve atalet kuvvetinin hesabında kamın hareketi boyunca izleyiciye yaptırdığı hareketin kinematığı önemlidir. Kam profili kaçık merkezli dairesel bir geometriye sahip olup izleyiciye yaptırdığı hareket basit harmonik hareket olarak tanımlıdır.



Şekil 3. Kaçık eksenli dairesel bir kam ait tanımlama

Figure 3. Description of circular cam with eccentric axis

Basit harmonik hareketi veren kam profilinin sırasıyla konum, konumun θ açısına bağlı geometrik türevleri, Denklem 10, 11 ve 12 de verilmiştir. Kinematik bu ifadeler düzenlenerek denklem 13 elde edilir.

$$s(\theta) = e \cdot (1 - \cos\theta) \quad (10)$$

$$s(\theta)' = e \cdot \sin\theta \quad (11)$$

$$s(\theta)'' = e \cdot \cos\theta \quad (12)$$

$$F_n = k \cdot d + k \cdot e \cdot (1 - \cos\theta) + m \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \cos\theta \quad (13)$$

$$d_0 = d + s(\theta) = d + e \cdot (1 - \cos\theta)$$

$$a = \omega^2 s(\theta)''$$

Kamın birinci devri sonundaki aşınma derinliği denklem 9 da yerine yazılırsa, denklem 14 elde edilir.

$$h_1 = \frac{K}{b} (k \cdot d_0 + k \cdot e + m \cdot a)$$

$$h_1 = \frac{K}{b} (k \cdot d_0 + k \cdot (1 - \cos\theta) \cdot e + m \cdot \omega^2 \cdot \cos\theta \cdot e) \quad (14)$$

İşlemi kolaylaştırabilmek için bazı basit tanımlamalar yaparsak

$$C = \frac{K}{b}$$

$$B = (1 - \cos\theta)$$

$$A = m \cdot \omega^2 \cdot \cos\theta$$

Kamın birinci devri sonundaki aşınma derinliği, Denklem 15'deki gibi basitleşir.

$$h_1 = C \cdot (k \cdot d_0 + k \cdot B \cdot e + A \cdot e) \quad (15)$$

Kamın ikinci devri sonundaki aşınma derinliği, Denklem 16'daki gibi ifade edilebilir.

$$h_2 = C \cdot [k(d_0 - h_1) + kB(e - h_1) + A \cdot (e - h_1)]$$

$$h_2 = C \cdot [k(d_0 - C \cdot k \cdot d_0 - C \cdot k \cdot e \cdot B - C \cdot A \cdot e + B \cdot e - B \cdot C \cdot k \cdot d_0 - B^2 \cdot k \cdot e \cdot C - B \cdot C \cdot A \cdot e) + A \cdot e - A \cdot C \cdot k \cdot d_0 - A \cdot C \cdot k \cdot e \cdot B - A^2 \cdot C \cdot e]$$

$$h_2 = C[k \cdot d_0 - C \cdot k^2 \cdot d_0 - C \cdot k^2 \cdot e \cdot B - C \cdot k \cdot A \cdot e + k \cdot B \cdot e - B \cdot C \cdot k^2 \cdot d_0 - B^2 \cdot K^2 \cdot e \cdot C - k \cdot B \cdot C \cdot A \cdot e$$

$$+ A \cdot e - A \cdot C \cdot k \cdot d_0 - A \cdot C \cdot k \cdot e \cdot B - A^2 \cdot C \cdot e]$$

$$h_2 = C \cdot [-C \cdot k \cdot d_0(k + B \cdot k + A) - C \cdot A \cdot e(k + B \cdot k + A) - k \cdot e \cdot B \cdot C(k + B \cdot k + A) + e(A + B \cdot k) + k \cdot d_0]$$

$$h_2 = C \cdot [-(C \cdot k \cdot d_0 + C \cdot A \cdot e + k \cdot e \cdot B \cdot C)(k + B \cdot k + A) + e(A + B \cdot k) + k \cdot d_0]$$

$$h_2 = C[-h_1(k + B \cdot k + A) + e(A + B \cdot k) + k \cdot d_0]$$

$$h_2 = -C \cdot h_1(k + B \cdot k + A) + C \cdot A \cdot e + C \cdot e \cdot B \cdot k + C \cdot k \cdot d_0$$

$$h_2 = h_1(1 - C(k + B \cdot k + A)) \quad (16)$$

C, B ve A kısaltmaları denklem 16'da yazılırsa denklem 17 elde edilir.

$$h_2 = h_1(1 - \frac{K}{b}(k + k(1 - \cos\theta) + m \cdot \omega^2 \cdot \cos\theta)) \quad (17)$$

Kamın üçüncü devri sonundaki aşınma derinliği denklem 18 de verilmiştir.

$$h_3 = C[k \cdot (d_0 - (h_1 + h_2)) + k \cdot B \cdot (e - (h_1 + h_2)) + A \cdot (e - (h_1 + h_2))]$$

$$h_1 + h_2 = h_1 + h_1(1 - C(k + B \cdot k + A)) = 2 \cdot h_1 - C \cdot k \cdot h_1 - C \cdot B \cdot k \cdot h_1 - C \cdot A \cdot h_1$$

$$h_3 = C \cdot [k \cdot (d_0 - 2 \cdot h_1 + C \cdot k \cdot h_1 + C \cdot B \cdot k \cdot h_1 + C \cdot A \cdot h_1) + k \cdot B \cdot (e - 2 \cdot h_1 + C \cdot k \cdot h_1 + C \cdot B \cdot k \cdot h_1 + C \cdot A \cdot h_1) + A \cdot (e - 2 \cdot h_1 + C \cdot k \cdot h_1 + C \cdot B \cdot k \cdot h_1 + C \cdot A \cdot h_1)]$$

$$h_3 = C[k \cdot d_0 - 2 \cdot k \cdot h_1 + C \cdot k^2 \cdot h_1 + C \cdot B \cdot k^2 \cdot h_1 + C \cdot A \cdot k \cdot h_1 + k \cdot B \cdot e - 2 \cdot k \cdot B \cdot h_1 + k^2 \cdot B \cdot C \cdot h_1 + k^2 \cdot B^2 \cdot C \cdot h_1 + C \cdot B \cdot k \cdot A \cdot h_1 + A \cdot e - 2 \cdot A \cdot h_1 + A \cdot C \cdot k \cdot h_1 + A \cdot C \cdot B \cdot k \cdot h_1 + C \cdot A^2 \cdot h_1]$$

$$h_3 = h_1 + h_1(-2 \cdot C \cdot k + C^2 k^2 + C^2 \cdot B \cdot k^2 + C^2 \cdot A \cdot k - 2 \cdot C \cdot B \cdot k + k^2 \cdot B \cdot C^2 + k^2 \cdot B^2 C^2 + C^2 \cdot B \cdot k \cdot A - 2 \cdot A \cdot C + A \cdot C^2 \cdot k + A \cdot C^2 \cdot B \cdot k + C^2 \cdot A^2)$$

$$h_3 = h_1(1 - 2 \cdot C \cdot k + C^2 k^2 + 2 \cdot C^2 \cdot B \cdot k^2 + 2 \cdot C^2 \cdot A \cdot k - 2 \cdot C \cdot B \cdot k + k^2 \cdot B^2 C^2 + 2 \cdot C^2 \cdot B \cdot k \cdot A - 2 \cdot A \cdot C + C^2 \cdot A^2)$$

$$h_3 = h_1(1 - C(k + B \cdot k + A))^2 \quad (18)$$

3. tur sonundaki aşınma derinliğini veren ifade denklem 18 tanımlanmış ve her bir tur sonucu oluşan aşınma derinliği Denklem 19'daki şekliyle basitleştirilmiş ve ortaya konmuştur.

$$h_n = h_1(1 - \frac{K}{b}(k + k(1 - \cos\theta) + m \cdot \omega^2 \cdot \cos\theta))^{n-1} \quad (19)$$

Kamın 3. turu sonunda oluşan toplam aşınma derinliği veren ifade denklem 20'de genelleştirilmiştir.

$$\Delta h = h_1 + h_2 + h_3$$

$$\Delta h = h_1 + h_1(1 - C(k + B.k + A)) + h_1(1 - C(k + B.k + A))^2$$

$$\Delta h = h_1(1 + (1 - C(k + B.k + A)) + (1 - C(k + B.k + A))^2)$$

$$\sum_{k=1}^n r^{k-1} = 1 + r + r^2 + r^3 + \dots + r^{n-1} = \frac{1-r^n}{1-r} \quad (r \neq 1)$$

İfadesinden

$$h_{top} = \sum_{N=1}^n h_N = h_1 \frac{1-(1-C(k+B.k+A))^n}{1-(1-C(k+B.k+A))} \quad (20)$$

Belirlenen tur sayısı sonunda kam yüzeyinde oluşan aşınma derinliğinin toplamı veren ifadenin içinde C,B ve A kısaltmaları yerine konursa (21) ifadesi elde edilir.

$$h_{top} = \sum_{N=1}^n h_N = h_1 \cdot \frac{1-\left(1-\frac{K}{b}(k+k.(1-\cos\theta)+m.\omega^2.\cos\theta)\right)^n}{1-\left(1-\frac{K}{b}(k+k.(1-\cos\theta)+m.\omega^2.\cos\theta)\right)} \quad (21)$$

θ açısının 0° olduğu konum için yarıçap (\vec{R}) vektörü her bir devir sayısı için ve bu devirdeki toplam aşınma için ilk yarıçap vektörü R_0 'ın bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir ve Denklem 22'deki gibi yazılabilir.

$$R = R_0 - \sum_{n=1}^n h_n = R_0 - h_1 \cdot \frac{1-\left(1-\frac{K}{b}(k+k.(1-\cos\theta)+m.\omega^2.\cos\theta)\right)^n}{1-\left(1-\frac{K}{b}(k+k.(1-\cos\theta)+m.\omega^2.\cos\theta)\right)} \quad (22)$$

2.2.3. Kamın Polar Konumu

Burada kamın aşınma öncesindeki, aşınmadan sonraki ve analitik model ile aşınmasının tahmin edilmeye çalışılan profilini geometrik olarak ortaya koyacağımız sistem tanıtılacaktır. Şekil 4'de düz yüzeyli izleyici ile kamın konumu ifade edilmiştir. Sabit koordinat sistemi X ve Y olarak, yüreğe ait koordinat sistemi x ve y olarak, sabit koordinat sistemi ile yüreğin koordinat sistemi arasındaki açısal durum θ , temel daire yarıçapı R_b ve değme noktası c ile tanımlanmıştır.

Burada ani dönme merkezi teoremi ya da Arnould-Kennedy ani dönme merkezi teoremi kullanılmıştır. Bu teoreme verilen herhangi iki ani dönme merkezini ifade eder. Üçüncü ani dönme merkezi bu bilinen iki ani dönme merkezine bir çizgi bağlantısı üzerinde düşmelidir.

Denklem 23'de izleyicinin hızı verilmiştir ve Denklem 24'de değme noktasının (X_c), X koordinatı, Denklem 25'de ise değme noktasının (Y_c) Y koordinatı verilmiştir. $\dot{s}(\theta)$ zamana bağımlı değişken s'nin türevi ve $s'(\theta)$, θ 'ya bağlı s'nin geometrik türevidir.

$$\dot{s}(\theta) = \omega \cdot s'(\theta) \quad (23)$$

$$X_c \cdot \omega = \dot{s}(\theta) = \omega \cdot s'(\theta) \quad , \quad X_c = s'(\theta) \quad (24)$$

$$Y_c = R_b + s(\theta) \quad (25)$$

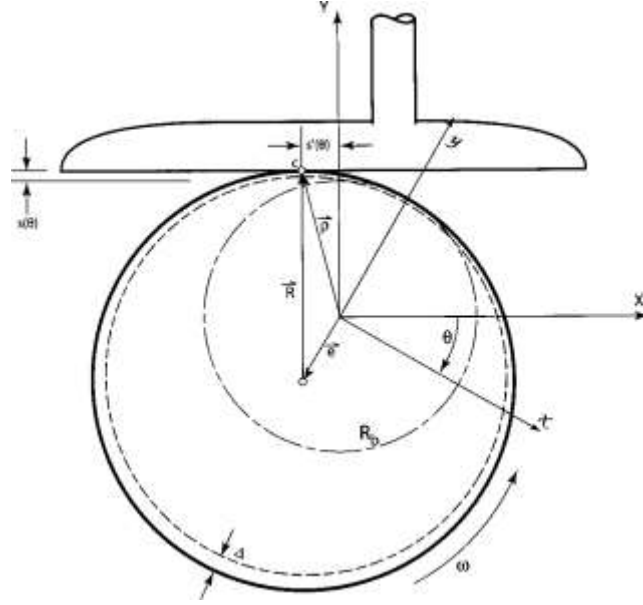
Bu koordinatlarının dizilişinde kamın dönüş yönü, saat yönü için pozitif kabul edilir. Neticede ilgili koordinatlara taşınan koordinat sistemi denklem 26'deki gibi matris formunda ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \end{bmatrix} \quad (26)$$

Kam profilin yüzeyine dik olan aşınma olayına göre bir aşınma dairesinden sonra yeni kam yüzeyi koordinatları (\bar{x}_c, \bar{y}_c), denklem 27 ve 28'de ifade edildiği gibidir. Yüzey teğet vektörü x_c' ve y_c' nin i ve j bileşenlerine sahiptir.

$$\bar{x}_c = x_c + \Delta \frac{y_c'}{\sqrt{(x_c')^2 + (y_c')^2}} \quad (27)$$

$$\bar{y}_c = y_c - \Delta \frac{x_c'}{\sqrt{(x_c')^2 + (y_c')^2}} \quad (28)$$



Şekil 4. Bilgisayar simülasyonu için tanımlama (Dickrell III, D.C., 2003)

Figure 4. Identification for computer simulation (Dickrell III, D.C., 2003)

Bir eksantrik dairesel kam örneği için, hareket $s(\theta)$ ve $s(\theta)$ nin türevi $s'(\theta)$ ile ifade edilebilir. $s(\theta) = e(1 - \cos \theta)$ ve $s'(\theta) = e \cdot \sin \theta$, burada e kaçıklıktır. Aşınmış kam yüzeyi koordinatları için denklem 27 ve 28'deki denklemlerde bu ifadeler düzenlenirse

Denklem 26 den

$$x_c = \cos \theta \cdot X_c + \sin \theta \cdot Y_c \quad (29)$$

$$y_c = -\sin \theta \cdot X_c + \cos \theta \cdot Y_c \quad (30)$$

$$x'_c = -\sin \theta \cdot X_c + \cos \theta \cdot Y_c \quad (31)$$

$$y'_c = -\cos \theta \cdot X_c - \sin \theta \cdot Y_c \quad (32)$$

Denklem 24 ve denklem 25, denklem 29 de yerine konursa

$$\begin{aligned} x_c &= \cos \theta \cdot e \cdot \sin \theta + \sin \theta (R_b + e(1 - \cos \theta)) = \cos \theta \cdot \sin \theta \cdot e + \sin \theta \cdot R_b + e \cdot \sin \theta - \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot e \\ &= (R_b + e) \cdot \sin \theta \end{aligned} \quad (33)$$

$$x'_c = (R_b + e) \cdot \cos \theta \quad (34)$$

Denklem 24 ve denklem 25, denklem 30 da yerine konursa

$$\begin{aligned} y_c &= -\sin \theta \cdot e \cdot \sin \theta + \cos \theta \cdot (R_b + e(1 - \cos \theta)) \\ &= -\sin^2 \theta \cdot e + R_b \cdot \cos \theta + e \cdot \cos \theta - \cos^2 \theta \cdot e \\ &= -e(\sin^2 \theta + \cos^2 \theta) + (R_b + e) \cdot \cos \theta \\ &= (R_b + e) \cdot \cos \theta - e \end{aligned} \quad (35)$$

$$y'_c = -(R_b + e) \cdot \sin \theta \quad (36)$$

$$\begin{aligned} (x'_c)^2 + (y'_c)^2 &= (R_b + e)^2 \cdot \cos^2 \theta + (R_b + e)^2 \cdot \sin^2 \theta \\ &= (R_b + e)^2 \end{aligned}$$

Denklem 27 yeniden yazılırsa,

$$\begin{aligned} \bar{x}_c &= (R_b + e) \cdot \sin \theta + \Delta \frac{-(R_b + e) \cdot \sin \theta}{\sqrt{(R_b + e)^2}} = [(R_b + e) - \Delta] \cdot \sin \theta \\ \bar{x}_c &= [(R_b + e) - \Delta] \cdot \sin \theta \end{aligned} \quad (37)$$

Denklem 28 yeniden yazılırsa

$$\bar{y}_c = (R_b + e) \cdot \cos \theta - e - \Delta \frac{(R_b + e) \cdot \cos \theta}{\sqrt{(R_b + e)^2}}$$

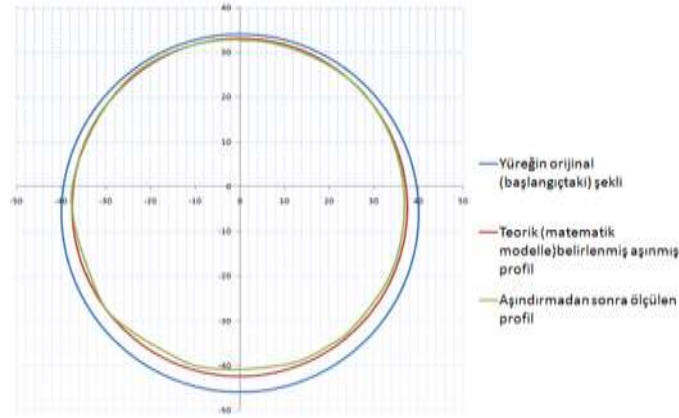
$$\bar{y}_c = [(R_b + e) - \Delta] \cdot \cos \theta - e$$

(38)

Bu koordinat tanımlamaları da yapıldıktan sonra her devir sayısı için ayrı olmak üzere, kamın daha önce belirlenmiş her 5° lik açısındaki, matematik model yoluyla yapılan analitik hesap sonrası ve deney sonrası ölçüm yoluyla belirlenen aşınma derinlikleri polar olarak kam profili için çizilmiştir.

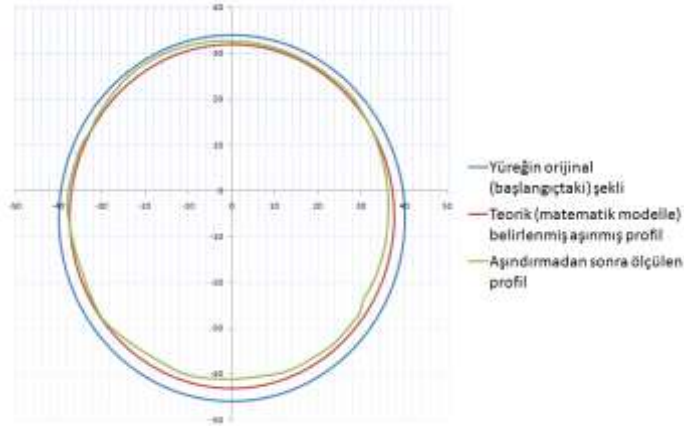
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu modelleme çalışması ile kam profilinin aşınması, yük, hız ve malzeme bileşenleri dikkate alınarak geliştirildi. Toplam tur sayısı 150.000 tur olarak iki deney takip eden aşınma deneyleri için sabit tutulmuş ancak aynı deney şartları için kam profilinin aşınma testleri tekrarlanmış ve dolayısıyla değişen yük değerleri için de aşınma derinlikleri ölçülmüştür. Ölçülen aşınma derinliği analitik hesaplarla karşılaştırılmıştır. Matematik model yoluyla analitik olarak hesaplanan ve aşınmış profilin CMM de ölçüm yoluyla belirlenen aşınma derinlikleri polar olarak, 350 d/dak için Şekil 5’de ve 1000 d/dak için Şekil 6’da verilmiştir.



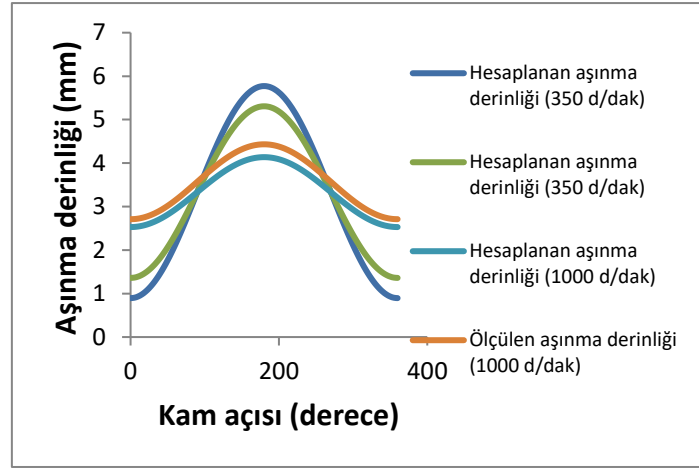
Şekil 5. Kamın 350 d/dak.da aşınmış profili(150.000 tur)

Figure 5. 350 rpm and after 150000 rounds



Şekil 6. Kamın 1000 d/dak. Da aşınmış profili (150.000 tur)

Figure 6. 1000 rpm and after 150000 rounds



Şekil 7. PTFE malzemeye sahip kam profilinin farklı devir sayılarındaki hesaplanan ve ölçülen aşınma derinliği

Figure 7. Calculated and measured wear depth of the PTFE cam profile at different speeds

4. Sonuç

PTFE malzemeden hazırlanan kamın iki farklı devir sayısı için, 150.000 tur olarak sabitlenen hareketinin sonucunda geliştirilen matematik model ile deney sonucu ortaya çıkan kam profili üzerinden sonuçlar karşılaştırılmış ve aradaki farkın ortalama % 3.3 oranında olduğu görülmüştür. Başlangıçta, kamın dönme merkezini izleyiciye en yakın mesafede olduğu noktadan, 180° sonraki konumunda toplam kuvvet maksimuma ulaşmakta ve bu açı üzerindeki aşınmanın da en fazla % 8 oranında farklılık gösterdiği görülmüştür. Aşınmış profillerin ölçüm hassasiyetlerinin iyileştirilebilmesi, deney şartlarının daha stabilize kılınması aradaki bu farkı daha da düşürecektir. Aşınma derinliğini tahmin edebilme açısından bu farklar tolere edilebilir düzeydedir. Geliştirilen bu matematik model farklı çalışma şartları için (farklı kam malzemeleri, farklı hızlar) de aşınma derinliği tahmin edebilme kolaylığı getirecektir. Bu çalışmada atalet kuvvetinin de, kam üzerindeki toplam normal kuvvet içinde etkisinin olabilmesi için hız ve kütle sınırlaması yapılmamış, her tur sonundaki ve toplam tur sayısı sonundaki aşınma derinlikleri analitik olarak Denklem 19 ve denklem 21 de geliştirilmiştir. Modelin güvenilir olduğu sonucunda, hızı, malzemeyi ve yüklenme durumunu değiştirebileceğimiz şartlar için de kullanabileceğimiz analitik bir yaklaşıma ulaşmış olduk. Aşınmanın kuvvetle orantılı olması nedeniyle, izleyiciye, tanımlı hareket olan basit harmonik hareketi sağlayacak olan kaçık merkezli dairesel kam profili seçilerek, bu hareket için geçerli yay ve atalet kuvvetleri hesaplanabilmiş ve aşınma denklemi içinde yerini almıştır. Burada gözlemlenen bir diğer önemli sonuç ise, aşınmanın maksimum olduğu yani kamın 180 derecelik turu sonundaki konumunda, kamın devir sayısının bir diğer ifade ile hızının arttığı durumda, beklentinin aşınma miktarının da artması yönünde olduğudur. Ancak aşınma miktarı, burada etkili olan yükte doğru orantılıdır. Kam üzerinde etkili olan yay ve atalet kuvveti toplamını veren denklem 13 deki bağıntı incelendiğinde, hız arttıkça büyüklük olarak atalet kuvveti de artmakta ancak yay kuvveti ile ters yönde etki etmesi nedeniyle toplam kuvvetin artan hızla birlikte düşmesi sonucunda Şekil 7 de görüleceği üzere, aşınma miktarı düşmektedir. Bu geliştirilen model ile alınan sonuçların, deneysel sonuçlarla uyum içinde olması, farklı kam profilleri için de, bu aşınma oranı tahminlerini fikir verebilmesi adına kullanabileceğimizi göstermiştir.

Kaynakça

- Archard, J.F., (1980). *Wear Theory and Mechanism, ASME Wear Control Handbook*.
- Blanchet, T.A., (1997). *The Interaction of Wear and Dynamics of a Simple Mechanism, Journal of Tribology*, 119:597-599.
- Cheng vd., (1994). *Wear and Life Prediction of Cam Roller Follower, SAE*, 940822:468-479.
- Czichos, H., (1978). *Tribology- a System Approach to the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear*, Elsevier.
- Dickrell III, D.J., Dooner, D. B. ve Sawyer, W. G., (2003). *The Evolution of Geometry for a Wearing Circular cam:Analytical and Computer Simulation With Comparison to Experiment, Journal of Tribology*, 125:187-192.
- Dinc, O.S., Cromer, R. ve Calabrese, S.J., (1995). *Redesigning Mechanical Systems for Low Wear Using System Dynamics Modeling, Journal of tribology*, 35:1-8.
- Fries, R.H. ve Rogers, C.A., (1988). *Predictions of Cam Wear Profiles*, Proceedings of the 15 th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, 6-9 September 1988, Leeds.
- Hugnell, A., Andersson, S., (1994). *Simulating Follower Wear in a Cam-Follower Contact, Wear*, 179:101-107
- Hugnell, B.-J. A., Björklund, S. ve Andersson, S., (1996). *Simulation of the Mild Wear in a Cam-Follower Contact with Follower Rotation, Wear*, 199:202-210.
- I Bell, J.C., vd., (1985). *Prediction of Automotive Valve Train Wear Patterns with Simple Mathematical Models*, 1985, Proceedings of the 12 th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, 6-9 September 1985, Lyon, France.

- Jain, V.K. ve Bahadur, S., (1980). *Development of a Wear Equation for Polymer-Metal Sliding in Terms of the Fatigue and topography of the Sliding Surfaces*, Wear:237-248.
- Kar, M.K. ve Bahadur, S. (1980). *Estimation of Wear Particle Thickness in Polymer-Metal Sliding*, Wear:105-112.
- Keskin, İ., (2012). *Yürek mekanizmalarında Aşınma ve Elastohidrodinamik Yağlama*, Doktora tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Lacey, P.ve Torrance, A.A., (1991). *The calculation of Wear Coefficients for Plastic Contacts*, Wear145:367-383.
- Mehenny ve Taylor, (2001). *Analysis of the influence of cam surface waviness on the lubrication of an automotive cam and flat faced follower*; in:Tribology Research: From Model Experiment to Industrial Problem, Elsevier.
- Meng, H., (1994). *Wear Modeling: Evaluation and Categorization of Mear models*, Ph.D., The University of Michigan.
- Michalski, J., Marszalek, J. Ve Kubiak, K., (2000). *An Experimental Study of Diesel Engine Cam and Follower Wear with Particular Reference to the Properties of the Materials*, Wear, 240:168-179.
- Nayak,N., Lakshminarayanan, P.A., Gajendra Babu, M.K., Dani A.D., (2006). *Predictions of cam follower wear in diesel engines*, Wear, 260:181-192.
- Özmen, Y., (2004). *Makine elemanlarının Tribolojik Hasarları ve Uygun Malzeme Seçimi*, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2004(1):31-37.
- Podra, P. ve Andersson,S., (1999). “*Simulating Sliding Wear With Finite Element Method*”, Tribology International, 32:71-81.
- Podra, P. ve Andersson,S., (1999).*Finite Element Analysis Wear Simulation of a Conical Spinning Contact Considering Surface Topography*, Wear, 224:13-21.
- Rabinowicz, E., (1965). *Friction and Wear of Materials*, New York, Wiley.
- Sawyer, W. G., (2003). *Wear Predictions for a Simple-Cam Including the Coupled Evolution of Wear and Load*, Lubrication Engineering, 57:31-36.
- Shigley, J.E. ve Uicker, J.J.,(1995),. *Theory of Machines and mechanisms*, McGraw-Hill.
- Soejima,M., vd., (1994).*Experimental Studies on Friction and Wear of Cam and Tappet*,JSAE Review,23:140-146.
- Soejima, M., Wakuri, Y. Ve Ejima, Y., (1997). *Experimental Studies on Improvement of Lubrication for Cam and Follower*, JSAE Review, 18:301-305.



A Research on Sources of Heavy Metal and Organic Matter Pollution of Recent Sediments in Northwestern Marmara Sea and Precautions to be Taken

Abdullah Yinanç

^{1*} Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Engineering Department of Environmental Engineering, Tekirdağ, Turkey, (ORCID: [0000-0002-8144-8266](https://orcid.org/0000-0002-8144-8266)), yinanc@nku.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 5 Ekim 2023 ve Kabul Tarihi 17 Aralık 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10493582)

ATIF/REFERENCE: Yinanç, A. (2024). A Research on Sources of Heavy Metal and Organic Matter Pollution of Recent Sediments in Northwestern Marmara Sea and Precautions to be Taken. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (53), 12-24.

Abstract

Tekirdağ and Istanbul cities are residential areas that are situated in the northwestern shores of Marmara Sea. Both cities constitute an important part of Türkiye in terms of population density, agriculture, industry, and marine transportation. Because of the mentioned activities, polluting materials reach the Marmara Sea in the area either directly or indirectly through rivers, thus polluting the Marmara Sea. This study investigates the sources of heavy metal and organic matter pollution in northwestern Marmara aquatic sediments and which precautions should be taken. Sediment samples were taken through "gravity core" technique in the study, and element analysis and organic matter value of these samples were obtained. Arsenic (As) was found to be high generally in all locations in the study. Zinc (Zn) is very high in locations 1-7, 14, and 20. Upon examining the geographic map of the area, these locations which are high in pollution are either next to the residential areas or are discharge areas of polluted rivers. It is interesting that other elements are also higher than normal in these locations. The fact that As and Zn are found more in aquatic environments sheds light on the irresponsible and excessive agricultural spraying and fertilizer use. In addition, the impact of industrial activities is also visible for this pollution. Location number 12 where Cobalt (Co) levels are very high is around Fevzipaşa residential area, and it can be seen that a river flows into the sea at this point. It can be seen in these analyses that one of the main reasons of pollution in aquatic sediments are the rivers discharging to the sea from the land. It can be seen in the study areas that the organic carbon percentage (%TOC) has high levels particularly in the discharge points of rivers into the sea. The fact that the TOC level is high shows that pollution is an inland plant-based pollution. Nitrogen levels, however, are relatively low (%N: 0.03-0.09) in locations where TOC levels are high. It is thought that eutrophication might be low in areas where nitrogen (N) levels are below 20 g/kg. high carbon concentrations in the sediments, however, show that biological break down of carbon matters is slow.

In order to prevent the pollutions found here, contents of the fertilizers and sprays used in agricultural activities should be analysed. Furthermore, analyses should be made on agricultural lands before the fertilization and spraying. Industrial waste should be discharged to the sea after it is refined in advanced treatment facilities, and ships should be prevented from discharging their waste in the sea in maritime shipping.

Keywords: Soil, Pollution, TOC, OC, IC, Marmara Sea, Marmara

Kuzeybatı Marmara Denizi'ndeki Sedimentlerin Ağır Metal ve Organik Madde Kirliliğinin Kaynakları ve Alınması Gereken Önlemler Üzerine Bir Araştırma

Öz

Tekirdağ ve İstanbul şehirleri, Marmara Denizi'nin kuzeybatı kıyılarında yer alan yerleşim alanlarıdır. Her iki şehir de nüfus yoğunluğu, tarım, sanayi ve deniz ulaşımı açısından Türkiye'nin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Söz konusu faaliyetler nedeniyle bölgedeki kirlenici maddeler doğrudan veya dolaylı olarak akarsular aracılığıyla Marmara Denizi'ne ulaşmakta ve böylece Marmara Denizi'ni kirlenmektedir. Bu çalışmada kuzeybatı Marmara'daki sucul sedimanlarda ağır metal ve organik madde kirliliğinin kaynakları ve hangi önlemlerin alınması gerektiği araştırılmaktadır. Çalışmada "gravity core" tekniği ile sediment örnekleri alınmış ve bu örneklerin element analizi ve organik madde değerleri elde edilmiştir. Araştırmada genel olarak tüm lokasyonlarda arsenik (As)

yüksek bulunmuştur. Çinko (Zn) 1-7, 14 ve 20 numaralı lokasyonlarda oldukça yüksektir. Bölgenin coğrafi haritası incelendiğinde kirliliğin yüksek olduğu bu lokasyonların ya yerleşim yerlerinin yakınında ya da kirlenmiş nehirlerin deşarj alanları olduğu görülmektedir. Bu lokasyonlarda diğer unsurların da normalden yüksek olması ilginçtir. As ve Zn'nin sucul ortamlarda daha fazla bulunması, sorumsuz ve aşırı tarımsal ilaçlama ve gübre kullanımına ışık tutmaktadır. Ayrıca bu kirlilikte endüstriyel faaliyetlerin etkisi de görülmektedir. Kobalt (Co) seviyelerinin oldukça yüksek olduğu 12 numaralı lokasyon Fevzipaşa yerleşim alanı civarında olup, bu noktada bir nehrin denize aktığı görülmektedir. Bu analizlerde, sucul sedimentlerdeki kirliliğin ana nedenlerinden birinin karadan denize boşalan nehirler olduğu görülmektedir. Çalışma alanlarında organik karbon yüzdesinin (%TOC) özellikle akarsuların denize döküldüğü noktalarda yüksek düzeylerde olduğu görülmektedir. TOC düzeyinin yüksek olması kirliliğin karasal bitki kaynaklı bir kirlilik olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, TOC seviyelerinin yüksek olduğu yerlerde nitrojen seviyeleri nispeten düşüktür (%N: 0,03-0,09). Azot (N) düzeyinin 20 g/kg'ın altında olduğu bölgelerde ötrofikasyonun düşük olabileceği düşünülmektedir. Ancak çökeltilerdeki yüksek karbon konsantrasyonları, karbon maddelerinin biyolojik parçalanmasının yavaş olduğunu göstermektedir. Burada bulunan kirliliklerin önlenmesi için tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübre ve spreyleerin içeriklerinin analiz edilmesi gerekmektedir. Ayrıca gübreleme ve ilaçlama öncesinde tarım arazilerinde analizlerin yapılması gerekmektedir. Endüstriyel atıklar ileri arıtma tesislerinde arıtıldıktan sonra denize deşarj edilmeli, deniz taşımacılığında gemilerin atıklarını denize boşaltması engellenmelidir.

Anahtar Kelimeler: Toprak, Kirlilik, TOK, OK, IK, Marmara Denizi

1. Introduction

The high level of organic matter and inorganic matter concentrations seen in Marmara Sea is a serious pollution problem. The fact that Marmara Sea is an inland sea and there are abundant residential areas around it make it vulnerable to both domestic and industrial pollution (Kam and Yümün, 2021; Pekey et al., 2004). High levels of heavy metal and organic matter concentrations in sea water are the major indicators of pollution. Among the natural sources of heavy metals are earth debris carried by the wind, volcanic eruptions, forest fires, biogenic processes, and sea salt (Muhammed et al., 2011; Blaser et al., 2000). Anthropogenic sources of heavy metals, however, are solid, liquid, and gas waste released from industrial facilities, mining activities, and agricultural activities (Paramasivam et al., 2015; Kam and Önce, 2016; Önce et al., 2021; Dinçer et al., 2019; Sarkar et al., 2018; Srivastava et al., 2018). All heavy metals show a toxic effect above a certain concentration (Alcorlo et al., 2006; Egemen, 2006; Yümün et al. 2016; Bayrak et al. 2022; Yümün et al. 2022). Thus, Pb, Zn, Cu, Cr, Cd, and some other metals are considered to be metals that have the potential to show human originated toxic effect in environmental risk evaluations (Ma et al., 2016; Valdes et al., 2014). It is highly important to effectively observe the heavy metal concentrations in aquatic environments (Ahmed et al., 2015; Kahlon et al., 2018).

Since deep sediments in aquatic environments are heavy metal storages, they are used to determine the heavy metal pollution (Yümün, 2016; Yümün, 2017; Yümün and Önce, 2017; Dinçer et al., 2019; Önce et al., 2021; Yümün et al. 2023). Among its most important reasons is that the accumulation in the sediment does not show momentary change. This change occurs based on long processes. Furthermore, this situation represents both the natural and the anthropogenic accumulation. The fact that heavy metals occur as neatly accumulated layers in sediments enables to compare the change between the current situation and past terms. Sediments are reservoirs where elements are stored in aquatic environments, and they form a living and feeding environment for many living beings. Therefore, pollutions that occurs in a sediment can be dangerous for living beings and the environment (Türkmen and Akbulut, 2015; Kam et al., 2021). Aquatic sediments serve as a potential storage; they are separated from the water surrounding it; and they have the potential to store more metals than the water because of the long-term accumulation.

Even the 1% of the contaminants that enter aquatic environments remain in the water; almost all of it collapses and is stored in the sediment (Salomons and Stigliani, 1995). This situation makes the sediment a secondary source that pollutes water (Meng et al., 2016; Zhao et al., 2013). In addition to heavy metals, organic pollution is also an important factor that threatens aquatic environments. Organic matter is found in fine-grained clay or chemical rocks (shale, clay stone, and limestone) in aquatic environments.

Organic matters accumulated in the clay can remain so without degradation. Accumulation of organic matters is closely related to the accumulation processes of heavy metals (Türkmen et al., 2006; Sungur and Özcan, 2015; Zaynab et al., 2022). Organic pollution becomes particularly intense in areas which accommodate domestic population. Detergents, pesticides, proteins, and phenols compose the organic components in domestic wastewater composition. When domestic wastewater flows into the aquatic environment without being refining the high carbon, phosphorus, and nitrogen contents, organic pollution occurs (Metcalf, 2003; Alaş and Çil, 2002). TOC/N ratio determines whether organic matter is aquatic-based or terrestrial-based. Terrestrial organic matter is rich in carbon than nitrogen and shows a high TOC/N ratio. Terrestrial plants are rich in cellulose, and algae contain rich components in terms of nitrogen. TOC/N ratio of terrestrial organics is between 12 and 14. Planktonic with TOC/N ratio between 6 and 8 shows aquatic-based organic matter. TOC/N = 10 value is a characteristic of mixed areas between aquatic and terrestrial sources (Lallier-Verges et al., 1998; Azevedo, 2003; Dinçer et al., 2019). Organic matter gives important information particularly for eutrophication (Bayram et al., 2011; Yümün and Önce Nişancıoğlu, 2023). TOC values are quite changeable; 1 mg / L in subterranean water and sea water, 2-10 mg / L in lakes or river water, and up to 10 g / L in swamps can be seen (Cwqgs, 1996). Organic carbon content in lower surface sediments depends on lithology of the sediment, microbiological degradation level, productivity of water column, and contribution of the environment. Many researchers carried out studies on the subject before. Yümün (2017) investigated the heavy metal concentration and their ratios in the aquatic sediments of west Marmara Sea. As a result of these studies, he developed a correlation coefficient described as Pollution Index (PI) to determine heavy metal results. Thanks to this coefficient (PI), elements such as Pb, Hg, Cu, and Ni were found out to get richer because of anthropogenic sources. Yümün and Önce (2017) separated the area into

pollution zones by investigating the heavy metal concentrations in Edremit Bay aquatic sediments. They used foraminiferal as bioindicators in their study to determine the harm that pollutions leaved on the environment. Yümün et al. (2021) investigated the existence of toxic and radioactive elements in Gemlik Bay aquatic sediments in their study. According to the analysis results, they have determined radioactive elements such as Cs-137 that occurs in artificial ways. Moreover, a richness in toxic elements as a result of agricultural and industrial activities was also determined. Dinçer et al. (2019) carried out TOC, TN, TC, and IC analyses in Edremit Bay aquatic sediments in their study. It was determined that organic pollution has occurred in the Bay where agriculture is made intensely. Atmaca and Erdem (2016) determined soil properties in certain river beds in Tekirdağ city in their study. In his study, Sarı (2008) determined the heavy metal sources in the drainage basin of rivers (Biga, Gönen, and Kocasu and its branches) in the south of Marmara Sea and their potential pollution effect through organic carbon and heavy metal analysis of surface sediments (including the selective assimilation). As a result of the study, it was seen that organic matter value is high in samples taken from areas where population is dense.

This study also investigates the heavy metal and organic matter pollution in aquatic sediments in west Marmara (Tekirdağ-İstanbul). Toxic materials that were analysed are Al, As, Cd, Hg, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Ni, and Zn. In order to determine the organic matter pollution, TOC, TN, TC, and IC analyses and calculations were made in the sediment. As a result of the analyses, it was seen that there is pollution in areas that are risky in terms of water quality.

2. Material and Method

2.1. Sample Collection

A total of 20 sediment samples were collected from the study area using the gravity coring method. These samples were obtained at an average distance of 1.5-2 km from the coastline and at an approximate water depth of 40-50 meters. The samples were stored in containers to prevent contact with air and were maintained at temperatures below 20°C until analysis (Chen et al., 2022; Yümün et al., 2021). The sampling locations included discharge points of rivers flowing into the Marmara Sea, areas receiving domestic sewage, tourism zones, and regions with a high concentration of industrial facilities. The geographical location of the study area and sample points are illustrated in Figure 1, and the sample coordinates are provided in Table 1.

Table 1: Sample coordinates of the study area

| Sample Location | X | Y |
|-----------------|---------------|----------------|
| TK-1 | 543318.49 d D | 4535338.03 m K |
| TK-2 | 544357.00 d D | 4535921.00 m K |
| TK-3 | 546021.00 d D | 4535981.00 m K |
| TK-4 | 547922.00 d D | 4536350.00 m K |
| TK-5 | 549813.00 d D | 4536638.00 m K |
| TK-6 | 552210.00 d D | 4537373.00 m K |
| TK-7 | 555755.00 d D | 4537973.00 m K |
| TK-8 | 559286.00 d D | 4538290.00 m K |
| TK-9 | 565984.00 d D | 4538188.00 m K |
| TK-10 | 570584.00 d D | 4533672.00 m K |
| TK-11 | 578029.00 d D | 4533258.00 m K |
| TK-12 | 585386.00 d D | 4541034.00 m K |
| TK-13 | 590526.00 d D | 4544513.00 m K |
| TK-14 | 595881.00 d D | 4545990.00 m K |
| TK-15 | 602825.41 d D | 4545761.19 m K |
| TK-16 | 608082.12 d D | 4544428.65 m K |
| TK-17 | 611381.91 d D | 4544291.05 m K |
| TK-18 | 616390.54 d D | 4543057.22 m K |
| TK-19 | 624144.19 d D | 4538755.11 m K |
| TK-20 | 631453.98 d D | 4538541.55 m K |



Figure 1. Location map of study area and samples

2.2. Laboratory Analyses

2.2.1 ICP-OES Analysis

Approximately 200 grams of samples were taken from the sediment samples for heavy metal analysis. The collected samples were placed in aluminium containers and left to dry in an oven at 50°C for 4 hours. The dried samples were crushed with a mortar and sifted through a 250 micron sieve to separate large particles. The remaining samples were placed in sealed bags and transported to the laboratory for analysis. Prior to analysis, solid samples needed to be made into a solution. Therefore, 12 ml HNO₃ and 4 ml HCl were added to the samples placed in combustion tubes for the melting process, and they were burned for 1 hour at 98 °C and 1.5 hours at 200 °C, and readings were taken (Yümün et. al. 2019, Yümün and Kam 2019, Khan et al. 2022).

2.2.2. Organic Matter Analyses

Total Organic Carbon (TOC) consists of the sum of the concentration of all organic carbon atoms covalently bonded to the organic molecules of the water column (Doğanay, 2014). It includes all organic substances, both natural and artificial. Practically, Total Organic Carbon is calculated with the following formula (Fil et. al. 2018).

Total Organic Carbon = Total Carbon – Total Inorganic Carbon

Approximately 250 g of sediment samples were taken for analysis. It was brought to the laboratory environment in protected bags and analyzed. Analyzes were performed with the TOC-L series (Model SSM 5000A) device (Dinçer et. al. 2019).

Nitrogen measurement was made in the laboratory with a Vapodest VAP 20s model device. In TOC measurement, both total carbon (TC) and inorganic carbon (IC) are calculated. The total amount of organic carbon is calculated by subtracting the amount of inorganic carbon from the total carbon content.

3. Results and Discussion

3.1. Results of Elemental Analysis and Findings

In order to determine the degree of permanent pollution in sediment samples taken from the sea, elemental analysis and organic matter analyses were carried out in the laboratory with the ICP-OES device. Toxic element analysis results are given in Table 2, and organic matter analysis results are given in Table 3. The concentration values obtained from the analyses were also visualised graphically in order to make them more visual and facilitate their correlation (Figs. 2 and 3).

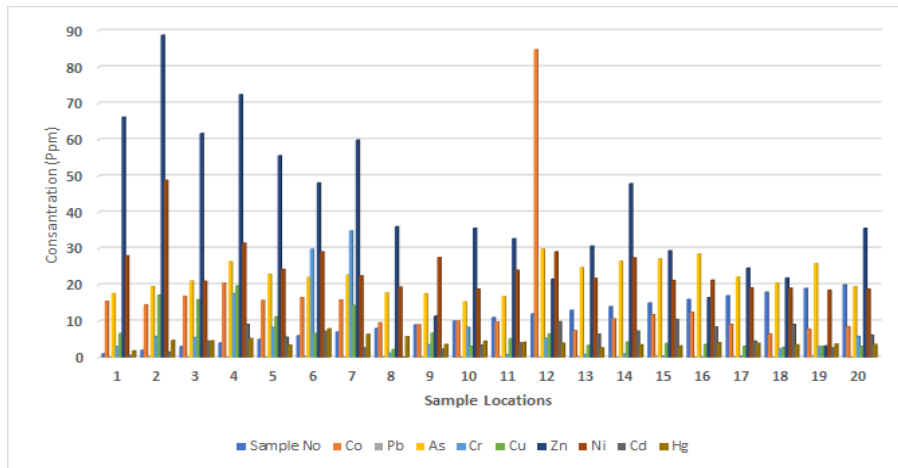


Figure 2. First Group Elements (Sample Location 1(TK-1))

Table 2. Sediment toxic element analysis results of the study area (mg/L)

| First Group Elements | | | | | | | | | | Second Group Elements | | | |
|----------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----------------------|----------|---------|-------|
| SampleNo | Co | Pb | As | Cr | Cu | Zn | Ni | Cd | Hg | SampleNo | Fe | Al | Mn |
| TK-1 | 15.50 | 0.00 | 17.58 | 3.00 | 6.60 | 66.20 | 28.00 | 0.50 | 1.80 | TK-1 | 24287.5 | 15409.8 | 590.2 |
| TK-2 | 14.50 | 0.25 | 19.51 | 5.80 | 17.20 | 88.80 | 48.80 | 1.50 | 4.70 | TK-2 | 73048.3 | 16369.6 | 169.7 |
| TK-3 | 16.87 | 0.10 | 21.06 | 5.50 | 15.90 | 61.70 | 21.00 | 4.52 | 4.60 | TK-3 | 30528.5 | 14632.1 | 561.5 |
| TK-4 | 20.48 | 0.00 | 26.40 | 17.60 | 19.70 | 72.40 | 31.50 | 9.13 | 5.20 | TK-4 | 35554.9 | 17375.5 | 685.5 |
| TK-5 | 15.74 | 0.00 | 22.86 | 8.30 | 11.20 | 55.60 | 24.30 | 5.60 | 3.40 | TK-5 | 27361.4 | 13992 | 330.7 |
| TK-6 | 16.48 | 0.37 | 22.06 | 29.80 | 6.60 | 48.10 | 29.10 | 7.13 | 7.90 | TK-6 | 24840.8 | 12098 | 332.9 |
| TK-7 | 15.83 | 0.00 | 22.65 | 34.90 | 14.30 | 59.90 | 22.50 | 2.60 | 6.40 | TK-7 | 29538 | 15088.1 | 361.1 |
| TK-8 | 9.55 | 0.15 | 17.80 | 1.20 | 2.20 | 36.00 | 19.40 | 0.00 | 5.70 | TK-8 | 20859.2 | 13240.3 | 281.5 |
| TK-9 | 9.04 | 0.12 | 17.52 | 3.50 | 6.70 | 11.40 | 27.50 | 2.32 | 3.60 | TK-9 | 14881 | 91316.4 | 386 |
| TK-10 | 10.01 | 0.05 | 15.26 | 8.30 | 3.07 | 35.60 | 18.82 | 3.43 | 4.50 | TK-10 | 11893.4 | 65555.8 | 49.1 |
| TK-11 | 9.78 | 0.00 | 16.74 | 0.80 | 5.17 | 32.70 | 24.04 | 4.06 | 4.20 | TK-11 | 15615.8 | 11396.8 | 81.5 |
| TK-12 | 84.75 | 0.10 | 29.80 | 5.30 | 6.52 | 21.60 | 29.09 | 9.86 | 3.90 | TK-12 | 18978.9 | 13817.9 | 99.5 |
| TK-13 | 7.34 | 0.23 | 24.76 | 0.80 | 3.32 | 30.70 | 21.83 | 6.45 | 2.60 | TK-13 | 14611.9 | 19735.8 | 46.4 |
| TK-14 | 10.65 | 0.00 | 26.49 | 1.00 | 4.24 | 47.90 | 27.41 | 7.26 | 3.50 | TK-14 | 15732.1 | 11102.1 | 78.1 |
| TK-15 | 11.79 | 0.45 | 27.15 | 0.40 | 3.89 | 29.40 | 21.21 | 10.50 | 3.20 | TK-15 | 14216.6 | 18894.2 | 47.7 |
| TK-16 | 12.46 | 0.00 | 28.47 | 0.10 | 3.56 | 16.50 | 21.29 | 8.40 | 4.10 | TK-16 | 13652.3 | 19256.1 | 55.6 |
| TK-17 | 9.12 | 0.24 | 22.14 | 0.40 | 3.06 | 24.60 | 19.18 | 4.52 | 3.90 | TK-17 | 13003.6 | 17631.4 | 57.9 |
| TK-18 | 6.46 | 0.00 | 20.47 | 2.30 | 2.77 | 21.90 | 19.08 | 9.13 | 3.50 | TK-18 | 12329 | 17349.5 | 54.1 |
| TK-19 | 7.83 | 0.45 | 25.77 | 3.00 | 3.09 | 3.20 | 18.54 | 2.60 | 3.70 | TK-19 | 12825 | 17482.8 | 52.2 |
| TK-20 | 8.46 | 0.00 | 19.46 | 5.80 | 3.07 | 35.60 | 18.89 | 6.13 | 3.60 | TK-20 | 45698.01 | 11545.6 | 47.2 |

Since the concentration values of Co, Pb, As, Cr, Cu, Zn, Ni, Cd, and Hg elements are less than 1000 ppm, these elements are considered first-group elements and are presented in the graph in figure 2. Since Fe, Al, and Mn concentration values are greater than 1000 ppm, it was decided to evaluate these elements differently from other elements. Figure 2 shows that As is generally high in all locations. It is seen that Zn is very high in locations 1–7, 14, and 20. Looking at the map in Figure 1, it can be seen that these locations are either adjacent to residential areas or places where polluted streams discharge into the sea. It is also noteworthy that other elements are very high in these locations. Location 12, where Co values are very high, is around the Fevzipaşa settlement, where a stream flows into the sea.

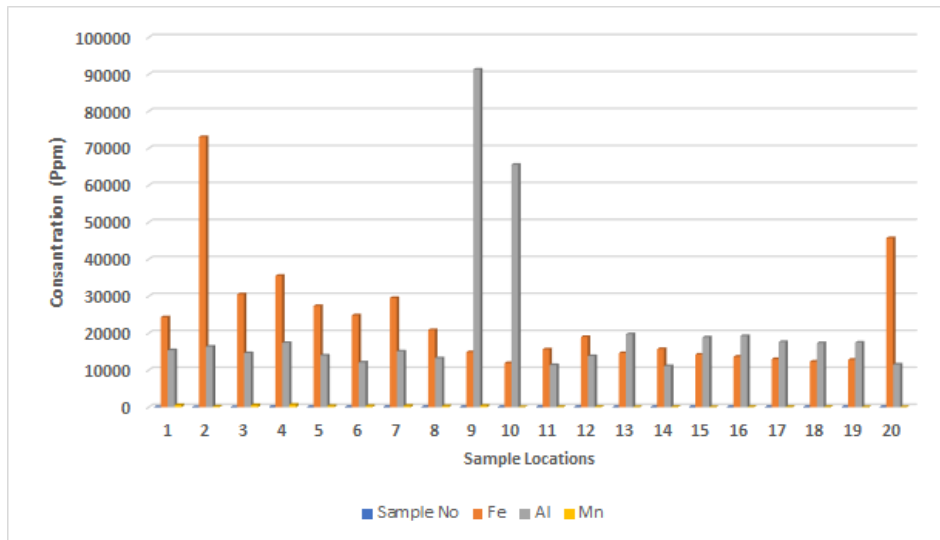


Figure 3. Second Group Elements

3.2. The Results of Organic Matter Analysis and Findings

Marine sediment analyses were carried out to examine land-based organic matter pollution in the marine environment (Table 3). It has been evaluated that the pollution effect of streams that are discharging into the sea, seen in elemental analyses, can also be seen in organic matter analyses. It is seen that the organic carbon percentages (%TOC) obtained in sediment samples no. 2, 4, 9, 12–19 are greater than 1%. These values again show that the percentage of organic carbon (%TOC) is high, especially at the discharge points of the rivers into the sea. The high TOC value indicates that the pollution is of intra-continental vegetal origin. The low nitrogen values (%N: 0.03-0.09) in these locations indicate that the pollution is caused by organic matter produced by algae. Irizuki et al. (Irizuki et al. (2015) emphasized that eutrophication may be less in regions where the TOC value is below 20 g/kg. High carbon concentrations in sediment indicated that biodegradation of carbonaceous substances was slow. In most locations, the TOC/TN ratio was found to be greater than 4. These values are a sign that intra- continental pollution is active. The low total nitrogen value indicates high biological activity on the seabed.

Table 3. Sediment organic matter analysis results of the study area

| Sample No | N% | TC % | %IC | TOC % | TOC/TN |
|-----------|------|------|------|-------|--------|
| TK-1 | 0.07 | 1.82 | 0.9 | 0.94 | 13.428 |
| TK-2 | 0.09 | 1.80 | 0.74 | 1.07 | 11.89 |
| TK-3 | 0.05 | 1.86 | 1.11 | 0.78 | 15.6 |
| TK-4 | 0.13 | 1.74 | 0.48 | 1.21 | 9.31 |
| TK-5 | 0.07 | 1.72 | 1.01 | 0.74 | 10.58 |
| TK-6 | 0.03 | 1.65 | 1.32 | 0.12 | 4.0 |
| TK-7 | 0.02 | 0.49 | 0.01 | 0.4 | 20.0 |
| TK-8 | 0.06 | 0.98 | 0.3 | 0.42 | 7.0 |
| TK-9 | 0.06 | 1.20 | 0.11 | 1.71 | 28.5 |
| TK-10 | 0.07 | 1.56 | 0.86 | 0.9 | 12.8 |
| TK-11 | 0.05 | 1.46 | 0.46 | 0.5 | 10.0 |
| TK-12 | 0.03 | 1.34 | 0.54 | 1.5 | 50.0 |
| TK-13 | 0.07 | 1.56 | 0.89 | 1.7 | 24.2 |
| TK-14 | 0.09 | 1.40 | 0.64 | 1.6 | 17.8 |
| TK-15 | 0.04 | 1.65 | 0.89 | 1.9 | 47.5 |
| TK-16 | 0.06 | 1.02 | 0.67 | 1.45 | 24.17 |
| TK-17 | 0.04 | 1.34 | 0.66 | 1.78 | 44.5 |
| TK-18 | 0.03 | 1.98 | 0.34 | 1.65 | 55.0 |
| TK-19 | 0.08 | 1.24 | 0.98 | 1.67 | 20.88 |
| TK-20 | 0.09 | 1.64 | 0.44 | 1.031 | 11.4 |

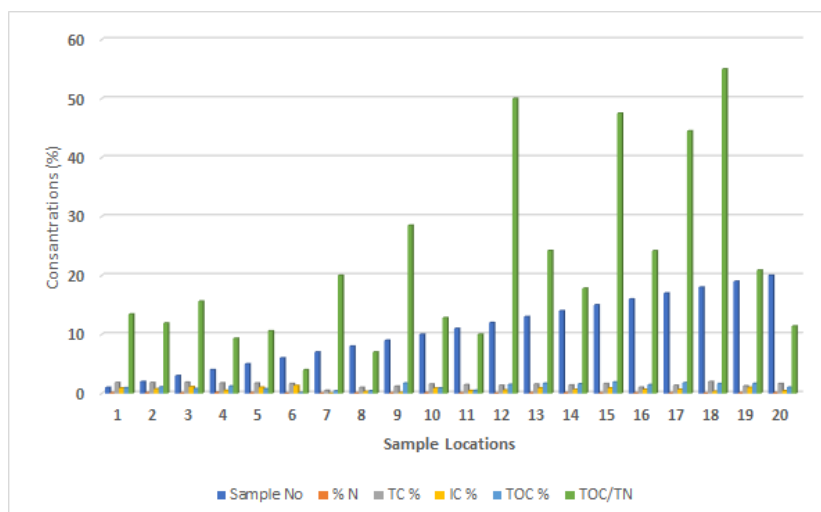


Figure 4. Organic Matter Concentrations (%)

3.3. Methods to Evaluate Heavy Metal Pollution in Marine Environments

3.3.1. Enrichment factor

Enrichment factor (EF) is one of the indexes used to detect the rate of anthropogenic heavy metal pollution in soil, seas, lakes and streams, and aquatic ecosystem sediments. This index is calculated by using various normalization elements (Fe, Al, Li, etc.) and the background values given in previous studies. Calculation of the normalized enrichment factor is widely used to determine anthropogenic effects (Abraham & Parker, 2008; Barbieri et. al., 2016). The conservative (reference) element used to normalize metals in the calculations is defined as the element with very low chemical mobility, characterized by its concentration remaining unchanged in soil or marine sediment, the absence of vertical mobility and/or degradation (Barbieri et. al., 2016). There is no definitive rule regarding the selection of the reference element. The concentration of the reference element in the sample is considered to be of crustal (lithogenic) origin. The purpose of using EF values instead of concentrations of elements is to normalize the value of the reference element by eliminating the effects of large differences in grain size, carbonate dilution and mineral content (Bruland et. al., 1974; Herut & Sandler, 2006; Park & Presley, 1997).

In this study, Fe was used as the normalization element when calculating the enrichment factor. Iron element was considered as the reference element because it does not show large variations in the core. In many studies similar to this study, Fe was used as a conservative element in the same way (Gargouri et. al., 2011; Shafie et. al., 2013). Average shale metal concentrations are taken as basis in evaluating the metal contents of marine sediments (Algan et.al. 2004; Pekey et. al., 2004; Aksu et. al., 1997; Yümün and Kam 2019). Normalization according to the iron element gives better results in regions with high mafic and ultramafic input in the area, such as Gemlik Bay, Albania and Iskenderun Bay. Average shale metal concentrations are taken as the basis in evaluating the metal contents of marine sediments (Abraham & Parker 2008; Aksu et. al., 1997; Algan et.al. 2004). Therefore, when interpreting the sediment heavy metal analysis results, the data obtained for each metal were compared with the shale average values. In this study, the enrichment factor (EF) of metals (Zn, As, Co, Cu, Ni, Pb and Mn) was calculated using heavy metal analysis results. Enrichment Factor is calculated using the following equation (1);

$$EF = \frac{(C_n/C_{ref})}{(B_n/B_{ref})} \quad (1)$$

Description of this formula; EF: Enrichment factor, C_n: Metal value measured in the study, C_{ref}: Value of the reference element measured in the study, B_n: Background value of the measured element, B_{ref}: Represents the shell (background) value of the reference element. Heavy metal contents of some geological reference rocks are given in Table 4.

It is generally accepted that if the calculated EF value result is close to 1 (EF<1), it indicates shell origin, between 1 and 3, it indicates low enrichment, between 3 and 5, it is controversially evidence of shell origin (high enrichment), and at values greater than EF>5, it indicates no shell origin (over-enrichment) (Galuszka, et al. 2014, Halstead, et al., 2000). In the calculation and evaluation of this factor, the difference compared to other pollution indexes is the normalization by selecting the reference element. The most striking result in the enrichment factor analysis is that the Arsenic Enrichment Factor (EF_{As}) is very high in all locations. It is thought that this result is due to intensive agricultural activities in the region.

Table 4. Heavy metal contents of some geological reference rocks [159, 160].

| | Fe % | Mn ppm | Co ppm | Ni ppm | Cu ppm | Zn ppm | Pb ppm | As ppm |
|----------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Earth crust[154] | 5 | 950 | 25 | 75 | 55 | 70 | 13 | 1,8 |
| Shale [155,156] | 4,7 | 850 | 19 | 70 | 45 | 95 | 20 | 13 |
| Sandstone [155] | 0,9 | 50 | <1 | 2 | 5 | 16 | 7 | 1 |
| Limestone [155, 157] | 0,4 | 1100 | <1 | 20 | 4 | 20 | 9 | 1 |
| Ultrabasics [158] | 5,7 | 700-2600 | 75-101 | 1700-2900 | 46-62 | | | |
| Basalt [156,157] | 8,6 | 1500 | 48 | | | | | |

Table 5. Enrichment Factors of sediment samples taken from the study area

| EF | COR-1 | COR-2 | COR-3 | COR-4 | COR-5 | COR-6 | COR-7 | COR-8 | COR-9 | COR-10 | COR-11 |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| EF _{Zn} | 1,94 | 0,86 | 1,44 | 1,45 | 1,45 | 1,38 | 1,44 | 1,23 | 0,55 | 2,14 | 1,50 |
| EF _{Mn} | 1,28 | 0,122 | 0,97 | 1,01 | 0,63 | 0,7 | 0,64 | 0,71 | 1,37 | 0,22 | 0,27 |
| EF _{As} | 20,1 | 7,41 | 19,2 | 20,6 | 23,2 | 24,6 | 21,2 | 23,69 | 32,7 | 35,64 | 29,78 |
| EF _{Co} | 1,27 | 0,39 | 1,1 | 1,15 | 1,15 | 1,32 | 1,08 | 0,92 | 1,21 | 1,69 | 1,25 |
| EF _{Cu} | 0,25 | 0,21 | 0,47 | 0,5 | 0,37 | 0,24 | 0,44 | 0,10 | 0,41 | 0,23 | 0,30 |
| EF _{Ni} | 0,77 | 0,44 | 0,46 | 0,59 | 0,59 | 0,78 | 0,5 | 0,62 | 1,23 | 1,05 | 1,03 |
| EF | COR-12 | COR-13 | COR-14 | COR-15 | COR-16 | COR-17 | COR-18 | COR-19 | COR-20 | | |
| EF _{Zn} | 0,81 | 1,50 | 2,17 | 1,48 | 0,86 | 1,35 | 1,27 | 0,17 | 0,56 | | |
| EF _{Mn} | 0,28 | 0,17 | 0,26 | 0,18 | 0,21 | 0,23 | 0,23 | 0,21 | 0,054 | | |
| EF _{As} | 43,60 | 47,06 | 46,76 | 53,06 | 57,93 | 47,29 | 46,12 | 55,7 | 11,8 | | |
| EF _{Co} | 0,89 | 1,0 | 1,35 | 1,66 | 1,83 | 1,40 | 1,05 | 1,22 | 0,37 | | |
| EF _{Cu} | 0,31 | 0,21 | 0,25 | 0,25 | 0,24 | 0,21 | 0,20 | 0,22 | 0,06 | | |
| EF _{Ni} | 1,01 | 1,0 | 1,16 | 0,99 | 1,04 | 0,98 | 1,03 | 0,96 | 0,27 | | |

3.3.2. Contamination Factor (*C_f*) (Hakanson 1980)

Contamination factor (C_f) is a method that is most frequently used in studies investigating heavy metals in sediment and provides important data about the current situation. The pollution factor classification used in interpreting the calculation results is given in Table 6. The average values of some elements used as background values are given in Table 7.

$$C_f^i = C^i / C_n^i \tag{2}$$

C_i : metal value measured in sediment

C_n : is the pre-industrial reference value of the metal.

The contamination factor (*C_f*) of the element results of the sediment samples taken from the study area was calculated (Table 6). In Table 6, it is understood that the Arsenic

Table 6. Contamination Factor Classification (Hakanson, 1980)

| C_f | Sediment Quality |
|---------------|---------------------------|
| $C_f < 1$ | Low contamination |
| $1 < C_f < 3$ | Medium contamination |
| $3 < C_f < 6$ | Significant contamination |
| $C_f > 6$ | Very high contamination |

Contamination Factor (C_f As: 7,2-14,7) is very high in sample locations 1-18 and clearly indicates contamination. It is understood that the Contamination Factor for other elements in all locations indicates low contamination ($C_f < 1$). This situation is also seen in the Enrichment Factor.

Table 7. World average values of some elements used as background values

| Toxic Elements | Zn | As | Fe | Cd | Co | Cr | Cu | Ni | Pb | Mn |
|----------------------|-----|-----|-------|-----|--------|-----|-------|-----------|-----|----------|
| | ppm | ppm | Ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| Earth Crust [154] | 70 | 1,8 | 5000 | - | 25 | - | 55 | 75 | 13 | 950 |
| *Shale [155, 156] | 95 | 13 | 47000 | 0,3 | 19 | 90 | 45 | 70 | 20 | 850 |
| Sandstone [155] | 16 | 1 | 900 | - | <1 | - | 5 | 2 | 7 | 50 |
| Limestone [155, 157] | 20 | 1 | 400 | - | <1 | - | 4 | 20 | 9 | 1100 |
| Ultrabasics [158] | - | - | 5700 | - | 75-101 | - | 46-62 | 1700-2900 | - | 700-2600 |
| Basalt [156, 157] | - | - | 8600 | - | 48 | - | - | - | - | 1500 |

Table 8. Contamination factor of elemental analysis results of sediments taken from the study area (C_{fi})

| Sample Location | C_{fMn} | C_{fFe} | C_{fNi} | C_{fCu} | C_{fZn} | C_{fCo} | C_{fAs} |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| TK-1 | 0,62 | 0,49 | 0,37 | 0,12 | 0,94 | 0,62 | 9,8 |
| TK-2 | 0,18 | 1,5 | 0,65 | 0,3 | 1,3 | 0,58 | 10,8 |
| TK-3 | 0,59 | 0,60 | 0,28 | 0,29 | 0,88 | 0,67 | 11,7 |
| TK-4 | 0,72 | 0,71 | 0,42 | 0,36 | 1,0 | 0,82 | 14,7 |
| TK-5 | 0,35 | 0,55 | 0,32 | 0,2 | 0,79 | 0,63 | 12,7 |
| TK-6 | 0,35 | 0,5 | 0,39 | 0,12 | 0,69 | 0,66 | 12,3 |
| TK-7 | 0,38 | 0,59 | 0,3 | 0,26 | 0,86 | 0,63 | 12,6 |
| TK-8 | 0,29 | 0,42 | 0,25 | 0,04 | 0,51 | 0,38 | 9,9 |
| TK-9 | 0,4 | 0,29 | 0,37 | 0,12 | 0,16 | 0,36 | 9,7 |
| TK-10 | 0,05 | 0,24 | 0,25 | 0,06 | 0,51 | 0,4 | 8,5 |
| TK-11 | 0,09 | 0,3 | 0,32 | 0,09 | 0,47 | 0,39 | 9,3 |
| TK-12 | 0,1 | 0,38 | 0,39 | 0,12 | 0,3 | 0,34 | 7,2 |
| TK-13 | 0,05 | 0,29 | 0,29 | 0,06 | 0,44 | 0,29 | 13,75 |
| TK-14 | 0,08 | 0,31 | 0,37 | 0,01 | 0,68 | 0,29 | 14,7 |
| TK-15 | 0,05 | 0,28 | 0,28 | 0,07 | 0,42 | 0,47 | 15,1 |
| TK-16 | 0,06 | 0,27 | 0,28 | 0,06 | 0,24 | 0,5 | 15,8 |
| TK-17 | 0,06 | 0,26 | 0,26 | 0,06 | 0,35 | 0,36 | 12,3 |
| TK-18 | 0,056 | 0,25 | 0,25 | 0,05 | 0,31 | 0,26 | 11,37 |
| TK-19 | 0,055 | 0,26 | 0,25 | 0,06 | 0,05 | 0,31 | 0,05 |
| TK-20 | 0,05 | 0,91 | 0,25 | 0,06 | 0,5 | 0,34 | 0,8 |

3.3.3. Pollution Index (PI (Yümün, 2017))

A correlation was developed by Yümün (2017) to determine the pollution status of marine sediments and to ensure their interpretability. The Pollution Index (PI) value is obtained by dividing the sum of the ratios of heavy metal measurement values to the

average value by the number of measurements. The empirical value obtained as Pollution Index (PI) was calculated with the following equation (Table 9).

$$PI = [(MV_1/MV_{avg}) + (MV_2/MV_{avg}) + \dots + (MV_n/MV_{avg})] / n \quad (3)$$

Descriptions of the parameters used in the correlation are given below and the ranges given in Table 10 are suggested for the evaluation of the obtained parameters.

PI: Pollution Index

MV₁: Heavy Metal Measurement Value (ppm)

MV_{avg}: Average Heavy Metal Measurement Value (ppm)

n: Number of heavy metals measured

This correlation provides a more realistic approach compared to other pollution analyses, as it uses local data as “background values”. For this purpose, the geochemical analysis results obtained from all previous studies were compiled and their average values were taken. The class ranges given in Table 9 were used in the pollution analyses.

Table 9. Pollution index calculations for samples

| Sample No | Al | As | Co | Pb | Cd | Cr | Cu | Zn | Ni | Mn | Hg | Fe | Pollution Indeks (PI) |
|------------------------------|-----------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------|-----------------|-----------------------|
| TK-1 | 15409.80 | 17.58 | 15.50 | 0.00 | 0.50 | 3.00 | 6.60 | 66.20 | 28.00 | 590.20 | 1.80 | 24287.50 | 0.82 |
| TK-2 | 16369.60 | 19.51 | 14.50 | 0.25 | 1.50 | 5.80 | 17.20 | 88.80 | 48.80 | 169.70 | 4.70 | 73048.30 | 1.14 |
| TK-3 | 14632.10 | 21.06 | 16.87 | 0.10 | 4.52 | 5.50 | 15.90 | 61.70 | 21.00 | 561.50 | 4.60 | 30528.50 | 1.00 |
| TK-4 | 17375.50 | 26.40 | 20.48 | 0.00 | 9.13 | 17.60 | 19.70 | 72.40 | 31.50 | 685.50 | 5.20 | 35554.90 | 1.33 |
| TK-5 | 13992.00 | 22.86 | 15.74 | 0.00 | 5.60 | 8.30 | 11.20 | 55.60 | 24.30 | 330.70 | 3.40 | 27361.40 | 0.87 |
| TK-6 | 12098.00 | 22.06 | 16.48 | 0.37 | 7.13 | 29.80 | 6.60 | 48.10 | 29.10 | 332.90 | 7.90 | 24840.80 | 1.03 |
| TK-7 | 15088.10 | 22.65 | 15.83 | 0.00 | 2.60 | 34.90 | 14.30 | 59.90 | 22.50 | 361.10 | 6.40 | 29538.00 | 1.07 |
| TK-8 | 13240.30 | 17.80 | 9.55 | 0.15 | 0.00 | 1.20 | 2.20 | 36.00 | 19.40 | 281.50 | 5.70 | 20859.20 | 0.53 |
| TK-9 | 91316.40 | 17.52 | 9.04 | 0.12 | 2.32 | 3.50 | 6.70 | 11.40 | 27.50 | 386.00 | 3.60 | 14881.00 | 0.91 |
| TK-10 | 65555.80 | 15.26 | 10.01 | 0.05 | 3.43 | 8.30 | 3.07 | 35.60 | 18.82 | 49.10 | 4.50 | 11893.40 | 0.69 |
| TK-11 | 11396.80 | 16.74 | 9.78 | 0.00 | 4.06 | 0.80 | 5.17 | 32.70 | 24.04 | 81.50 | 4.20 | 15615.80 | 0.49 |
| TK-12 | 13817.90 | 29.80 | 84.75 | 0.10 | 9.86 | 5.30 | 6.52 | 21.60 | 29.09 | 99.50 | 3.90 | 18978.90 | 1.07 |
| TK-13 | 19735.80 | 24.76 | 7.34 | 0.23 | 6.45 | 0.80 | 3.32 | 30.70 | 21.83 | 46.40 | 2.60 | 14611.90 | 0.56 |
| TK-14 | 11102.10 | 26.49 | 10.65 | 0.00 | 7.26 | 1.00 | 4.24 | 47.90 | 27.41 | 78.10 | 3.50 | 15732.10 | 0.60 |
| TK-15 | 18894.20 | 27.15 | 11.79 | 0.45 | 10.50 | 0.40 | 3.89 | 29.40 | 21.21 | 47.70 | 3.20 | 14216.60 | 0.68 |
| TK-16 | 19256.10 | 28.47 | 12.46 | 0.00 | 8.40 | 0.10 | 3.56 | 16.50 | 21.29 | 55.60 | 4.10 | 13652.30 | 0.55 |
| TK-17 | 17631.40 | 22.14 | 9.12 | 0.24 | 4.52 | 0.40 | 3.06 | 24.60 | 19.18 | 57.90 | 3.90 | 13003.60 | 0.50 |
| TK-18 | 17349.50 | 20.47 | 6.46 | 0.00 | 9.13 | 2.30 | 2.77 | 21.90 | 19.08 | 54.10 | 3.50 | 12329.00 | 0.50 |
| TK-19 | 17482.80 | 25.77 | 7.83 | 0.45 | 2.60 | 3.00 | 3.09 | 3.20 | 18.54 | 52.20 | 3.70 | 12825.00 | 0.49 |
| TK-20 | 11545.60 | 19.46 | 8.46 | 0.00 | 6.13 | 5.80 | 3.07 | 35.60 | 18.89 | 47.20 | 3.60 | 45698.01 | 0.61 |
| Average Value Of Marmara Sea | 17067.90 | 23.44 | 34.60 | 6.90 | 38.20 | 126.46 | 15.69 | 81.11 | 107.95 | 404.45 | 1191.10 | 29833.36 | 3.84 |
| Main Value | 21445.60 | 22.26 | 16.54 | 0.45 | 6.85 | 12.58 | 7.52 | 41.95 | 28.54 | 227.28 | 60.72 | 23775.69 | 0.92 |

Table 10. Recommended Pollution Index Ranges (Yümiin 2017).

| Parameter Range | Evaluation |
|-----------------|----------------------|
| PI>1 | Polluted Environment |
| PI<1 | Clean Environment |
| PI=1 | Critical Environment |

4. Conclusions and Recommendations

Tekirdağ and Istanbul are important regions of Turkey in terms of population density, agriculture, industrialization and maritime transportation. Uncontrolled discharge of both domestic waste and agricultural and industrial waste in the region can cause pollution of rivers in the terrestrial area. The Marmara Sea is also affected by these pollutions directly and/or indirectly (due to the discharge of polluted rivers). Pollutions are divided into two classes: 1. Pollution of sea water, 2. Pollution of bottom sediments. It was considered as temporary pollution because sea water can be renewed due to waves and water currents. However, the pollution in bottom sediments is permanent and cannot be cleaned. For this reason, even if the water in the sea is clear from time to time, it does not mean that the sea is clean. For this reason, it was decided to conduct pollution analysis of sediments in the part of the Marmara Sea between Tekirdağ and Istanbul.

In the study, the origin of heavy metal and organic matter pollution in current marine sediments in the study area and the precautions to be taken were investigated. When the sediments in the study area were evaluated with the Enrichment Factor, Arsenic (As) was calculated to be higher than 5 in all locations, which is an indicator of anthropogenic pollution. In addition, the Enrichment Factor values of Zn and Co heavy metals are 1 and above 1. Values between 1 and 3 are accepted as the beginning of pollution. It is understood that the abundance of Zn and As in the marine environment is a result of agricultural pesticide and fertilizer use and industrial activities in the region. Looking at the pollution index calculations, it was seen that the index was 1 and above in locations 2, 4, 6, 7 and 12. An index of 1 or above is defined as a dirty area. Likewise, when the Contamination Factor calculations are examined, all locations except locations 19 and 20 were determined to have very high contamination. The highest values were determined at locations TK-15 and TK-16 (16 and 15,8). Location 12, where cobalt (Co) values are very high, is around the Fevzipaşa settlement and it is seen that the stream flows into the sea at this point. All sediment evaluation factors calculated in the study gave common results, which shows us the accuracy of the calculations and analyzes made.

The percentage of organic carbon (%TOC) is high at the points where rivers discharge into the sea. The high TOC value in the study indicates that the pollution is of intra-continental vegetal origin. However, Nitrogen concentrations are low in these locations (%N: 0.03-0.09). It shows that eutrophication may be low in regions where nitrogen (N) values are below 20 g/kg. High carbon concentrations in the sediment showed that carbonaceous substances biodegraded slowly.

In order to prevent the pollution detected here, it is recommended to control the fertilizers and pesticides used in agricultural activities. Industrial wastes should be discharged into the sea after being treated in advanced treatment facilities, and ship wastes should be prevented from being discharged into the sea during maritime transportation. These measures are vital for the protection of the Marmara Sea and a sustainable environmental policy.

References

- Abraham G.M.S. ve Parker R.J., (2008). "Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand", *Environ. Monit. Assess.*, vol. 136, pp. 227–238,
- Ahmed, M.K., Shaheen, N., Islam, M.S., Habibullah-al-Mamun, M.d., Islam, S., Mohiduzzaman, M.d., Bhattacharjee, L. (2015). "Dietary intake of trace elements from highly consumed cultured fish (*Labeo rohita*, *Pangasius pangasius* and *Oreochromis mossambicus*) and human health risk implications in Bangladesh". *Chemosphere* 128, 284–292.
- Alaş, A, Çil, O.H.Ş. (2002). "Examination of water quality parameters in some sources providing drinking water to Aksaray province". *Ecology*, 11, 40-44.
- Albut, G., (2014). "Evolution of heavy metal and organic pollution in Gemlik Bay sediments over time", Master's Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, İstanbul, pp. 118,
- Alcorlo, P., Otero, M., Crehuet, M., Baltanas, A., Montes, C. (2006). "The use of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard) as indicator of the bioavailability of heavy metals in environmental monitoring in the River Guadiamar (SW, Spain)". *Science of the Total Environment*. 366, 380-390.
- Algan, O., Balkis, N., Çağatay, M. N. and Sarı E., (2004) "The sources of metal contents in the shelf sediments from the Marmara Sea, Turkey", *Environmental Geology*, vol. 46, no. 6-7, pp. 932-950,.
- Aksu A.E., Yaşar, D. and Uslu, O., (1997). "Assessment of marine pollution in Izmir Bay: Heavy metal and organic compound concentrations in surficial sediments". *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*. 387-415.
- Atmaca, B. and Erdem, D. B. (2016). "Properties of Soils in Some Streambeds in Tekirdag Central District". *Toprak Su Dergisi*, 5 (1): 1-7.
- Azevedo, D. A. (2003). "A preliminary investigation of the polar lipids in recent tropical sediments from aquatic environments at Campos dos Goytacazes". *Journal of the Brazilian Chemical Society* 14: 97-106.

- Blaser, P., Zimmermann, S., Luster, J., Shotyk, W., (2000). "Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils: As, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in Swiss forest soils". *Sci. Total Environ.* 249 (1-3), 257–280.
- Barbieri M., (2016). "The importance of enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo) to evaluate the soil contamination", *J Geolog and Geophysics*, vol. 5, no. 1, pp.1-4,
- Bayrak K., Kam E., Yümün, Z.Ü., Önce, M. (2022). "Investigation of Heavy Metal Concentrations in the Gul of İzmit (Marmara Sea) Altinova Shipyard Region". *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry.* 9,4, 1263-1276.
- Bayram, A., Önsoy H., Akinci G., Bulut V.N., (2011). "Variation of total organic carbon content along the Stream Harsit, Eastern Black Sea Basin, Turkey", *Environ Monit Assess.*, vol. 182, pp. 85–95,
- Bruland, K.W., Bertine, K., Koide, M., Goldberg, E.D., (1974) "History of metal pollution in southern California coastal zone", *Environmental Science Technology*, vol. 8, pp. 425–432,.
- Cwqgs, (1996) "Canadian Water Quality Guidelines, Parameter-Specific Background Information". Ottawa:Canadian Council Of Research And Environment Ministers,.
- Doğanay, E., (2014). "Evaluation of analysis methods that can be used to monitor our country's waters in terms of physicochemical and chemical parameters according to the EU Water Framework Directive", Specialist Thesis, Republic of Turkey Ministry of Forestry and Water Affairs, Ankara,
- Diñçer A. R., Yümün S, Önce M, Yümün Z.Ü. (2019). "Investigation of inland pollution using Total Carbon (TC), Total Organic Carbon (TOC), Inorganic Carbon (IC), Total Nitrogen (TN) and TOC/TN ratios". *Applied Ecology And Environmental Research.*
- Egemen, Ö., (2006) *Water Quality.* Ege University Publications İzmir.
- Fil, B. A., Gündüz, Z., Güngör, A., Korkmaz, M., Uzuner, S., Sertkaya, S., Süzen, Y., Çalgan E., (2018). "Environmental Engineering Laboratory Experiment Sheet 2 ", Balikesir University.
- Gargouri, D., Azri, C., Sebaji, M. M., Jedoui, Y. and Montacer, M., (2011). "Heavy metal concentrations in the surface marine sediments of Sfax Coast, Tunisia, Environment Monitoring Assessment, vol. 175, pp. 519-530,.
- Hakanson, L., (1980). "An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach", *Water Research*, vol. 14, no. 8, 975.
- Herut, B. and Sandler, A., (2006). "Normalization methods for pollutants in marine sediments: review and recommendations for the Mediterranean", New York: UNEP/MAP, vol. 23,
- Irizuki, T., Ito, H., Sako, M., Yoshioka, K., Kawano, S., Nomura, R., Tanak, Y. (2015). "Anthropogenic impacts on meiobenthic Ostracoda (Crustacea) in the moderately polluted Kasado Bay, Seto Inland Sea, Japan, over the past 70 years". *Marine Pollution Bulletin* 91: 149-159.
- Kahlon, S.K., Sharma, G., Julka, J.M., Kumar, A., Sharma, S., Stadler, F.J., (2018). "Impact of heavy metals and nanoparticles on aquatic biota". *Environ. Chem. Lett.* 16 (3), 919–946.
- Khan, S.R., Sharma, B., Chawla, P.A. (2022). "Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES): a Powerful Analytical Technique for Elemental Analysis". *Food Anal. Methods* 15, 666–688
- Kam, E., Yümün Z., Ü. (2021). "Geographical distribution of toxic elements in Northeast Marmara Sea sediments and analysis of toxic element pollution by various pollution index methods (Istanbul/Turkey)". *Applied Ecology And Environmental Research* 19 (3), 1869-1893.
- Kam, E., Önce, M., (2016). "Pollution Potential of Heavy Metals in The Current Sea Sediments Between Bandirma (Balikesir) and Lapseki (Çanakkale) in the Marmara Sea". *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences* 1 (3) : 141-148.
- Kam, E., Yümün, Z. Ü., Açıkgöz, G., Önce, M. (2021). "Investigation of Sediment Records of Kulakçayiri Lake (Istanbul)". *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences* 6 (3) : 135-142.
- Lallier-Verges, E., Perrussel, B. P., Disnar, J. R., Baltzer, F. (1998). "Relationships Between Environmental Conditions and The Diagenetic Evolution of Organic Matter Derived from Higher Plants In A Modern Mangrove Swamp System (Guadeloupe, French West Indies)". *Organic Geochemistry* 29(5-7): 1663-1686.
- Ma X., Zuo H., Tian M., Zhang L., Meng J., Zhou X., Min N., Chang X., Liu Y. (2016). "Assessment of heavy metals contamination in sediments from three adjacent regions of the Yellow River using metal chemical fractions and multivariate analysis techniques". *Chemosphere.* 144, 264-272.
- Meng, Zuwei Wang, Beibei Hua, Zhongliang Wang, Hongyuan Li, Robbin Cole Goodmand. (2016). "Heavy metals in soil and plants after long-term sewage irrigation at Tianjin China: A case study assessment Weiqing". *Agricultural Water Management.* 171, 153–161.
- Metcalf and Eddy, (2003). "Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse", 3rd ed., McGraw-Hill, New York, USA.
- Muhammad, S., Shah, M.T., Khan, S., (2011). "Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan". *Microchem. J.* 98 (2), 334–343.
- Önce, M., Balnan, İ., Kam, N. (2021). "Determination of Heavy Metal Distribution of Yenikapı (Istanbul) Sea Sediments Using Libs Method" *European Journal of Science and Technology*, 60-64 .
- Paramasivam, K., Ramasamy, V., Suresh, G., (2015). "Impact of sediment characteristics on the heavy metal concentration and their ecological risk level of surface sediments of Vaigai river, Tamilnadu, India". *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* 137, 397–407.
- Park, J. and Presley, B. J., (1997). "Trace metal contamination of sediments and organisms from the Swan Lake area of Galveston Bay", *Environmental Pollution*, vol. 98, pp. 209-221,
- Pekey, H., Karaka, D., Ayberk, S., Tolun, L., Lu, M.B., (2004). Ecological risk assessment using trace elements from surface sediments of Izmit Bay (Northeastern Marmara Sea) Turkey. *Mar. Pollut. Bull.* 48, 946-953.
- Salomons, W., and Stigliani, W.M. (Editors). 1995. "Biodynamics of pollutants in soils and sediments: risk assessment of delayed and non-linear responses". Springer Verlag, Berlin.

- Sarkar, A., Das, S., Srivastava, V., Singh, P., Singh, R.P., (2018). "Effect of wastewater irrigation on crop health in the Indian agricultural scenario. In: Emerging Trends of Plant Physiology for Sustainable Crop Production". Apple Academic Press, pp. 357–371.
- Sarı, E., (2008). "Sources and distribution of heavy metals in river sediments from the Southern Drainage Basin of the Sea of Marmara, Turkey", *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 17, no. 12a,
- Schiff K.C. ve Weisberg S.B. (1999). "Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments", *Marine Environmental Research*, vol. 48, pp. 161-176.
- Shafie N. A., Aris A. Z., Zakaria M. P., Haris H., Lim W. Y. And Isa N. M., (2013). "Application of geoaccumulation index and enrichment factors on the assessment of heavy metal pollution in the sediments", *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, vol. 48, no. 2, pp. 182-190,
- Srivastava, V., Gupta, S.K., Singh, P., Sharma, B., Singh, R.P., (2018). "Biochemical, physiological, and yield responses of lady's finger (*Abelmoschus esculentus* L.) grown on varying ratios of municipal solid waste vermicompost". *Int. J. Recycl. Org. Waste in Agricult.* 7 (3), 241–250.
- Sungur, A., Özcan, H., (2015). "Chemometric and geochemical study of the heavy metal accumulation in the soils of a salt marsh area (Kavak Delta, NW Turkey)". *J. Soils Sediments* 15 (2), 323–331.
- Türkmen, A., Türkmen, M., Tepe, Y., Mazlum, Y., Oymael, S. (2006). "Heavy metal levels in Blue Crab (*Callinectes sapidus*) and Mullet (*Mugil cephalus*) in İskenderun Bay (North Eastern Mediterranean, Turkey)". *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 77: 186-193.
- Türkmen, A. And Akbulut, S. (2015). "Heavy Metal Pollution in Water and Sediment From Disembogue Points of Some Creeks along Giresun Coast". *Turkish Journal Of Agriculture - Food Science And Technology*, 3(9): 707-714,
- Valdés, J., Guinez, M., Castillo, A., Vega, S.E., (2014). "Cu, Pb, and Zn content in sediments and benthic organisms from San Jorge Bay (northern Chile): accumulation and biotransference in subtidal coastal systems". *Cienc. Marinas* 40 (1), 45–58.
- Yanguang, Dou, Jun Li, Jingtao Zhao, Bangqi Hu, Shouye Yang. (2013). "Distribution, enrichment and source of heavy metals in surface sediments of the eastern Beibu Bay, South China Sea". *Marine Pollution Bulletin*, 67,1–2, 137-145.
- Yümün, Z.Ü. (2016). "The effects of heavy metal concentrations in the Çanakkale strait (Turkey): morphological differences in the Holocene foraminiferal assemblages". *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*. 1,2, 77-88.
- Yümün, Z.Ü., Kam, E., Önce, M., Açıkgöz, G. (2016). "Stratigraphic and Geochemical Characteristics of Kulakçayırı Lake (Istanbul/Turkey) And Its Vicinity". *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*. 1,2, 69-75.
- Yümün, Z. Ü. (2017). "The Effect of Heavy Metal Pollution on Foraminifera in the Western Marmara Sea (Turkey)". *Journal of African Earth Science* 129: 346-365.
- Yümün, Z. Ü., Önce, M. (2017). "Monitoring Heavy Metal Pollution in Foraminifera from The Gulf of Edremit (Northeast Aegean Sea) Between İzmir, Balıkesir And Canakkale (Turkey)". *Journal of African Earth Sciences* 130: 110-124.
- Yümün, Z. Ü., Kam, E., Önce, M., (2019). "Analysis of Toxic Element with Icp-Oes and Libs Methods in Marine Sediments Around the Sea of Marmara in Kapıdağ Peninsula". *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences* 4 (1) : 43-50.
- Yümün, Z. Ü. And Kam, E. (2019). "Ecological analysis of heavy metal and radioactivity potential of Holocene sediments in Iznik Lake". *Nukleonika*, 64(3):103–109.
- Yümün, Z.Ü. and Kam, E. (2019). "Analysis and Correlation of Element Concentrations of Marine Sediments between Silivri (İstanbul) and Dardanelles by ICP-OES and LIBS Methods". *Journal of Europe Science and Technology*. 17, 951-958.
- Yümün, Z.Ü., Kam, E., Dinçer, A.R., Önce, M. Yümün, S. (2021). "The investigation of toxic element pollution and radioactivity analyses of marine sediments in the Gulf of Gemlik". *Applied Ecology And Environmental Research* 19(2):881-900.
- Yümün, Z.Ü. and Kam, E. (2021). "Mucilage Problem and Solution Methods in The Sea Of Marmara. 163. Ecology of the Marmara Sea: Formation and Interactions of Marine Mucilage, and Recommendations for Solutions". *Turkish Academy of Science*.
- Yümün, Z.Ü., Aslıyüksek, H., Yentür, M., M., Önce, M. (2022). "Measurement of Heavy Metal Concentrations of Marine Sediments in Yalova Section of Marmara Sea By LIBS Method and Evaluation of Pollution By Principal Component Analysis." *Journal of Cihannuma Technology Engineering and Natural Sciences Academy*.1(1), 101-117.
- Yümün, Z.Ü. and Önce-Nişancıoğlu, M. (2023). "The role of organic and inorganic substances in sediment pollution in the Marmara Sea between Gemlik (Bursa) and Bandırma (Balıkesir) and their effect on foraminifera". *Applied Ecology And Environmental Research* 21(4):3363-3390.
- Yümün, Z.,Ü, Kam, E., Önce, M. (2023). "Causes of Sea Saliva (Mucilage) Formation in the Sea of Marmara and Precautions to be Taken". *Journal of Environment City and Climate*, 2(3), 98-115.
- Zaynab, M, Al-Yahyai, R, Ameen A, Sharif Y, Ali L, Mahpara F, Khan K, A, Shuangfei Li. (2022). Health and environmental effects of heavy metals.. *Journal of King Saud University – Science*.1-8.



Tekirdağ ile İstanbul Arası Marmara Denizi'nde Müsilaj Tehlikesinin Araştırılması

Melike Önce^{1*}, Sevil Yılmaz²

^{1*} Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Engineering, Department of Environmental, Tekirdağ, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9621-3630), monce@nku.edu.tr

² Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Engineering, Department of Environmental, Tekirdağ, Turkey, (ORCID: 0009-0006-3259-1492),

(İlk Geliş Tarihi 6 Kasım 2023 ve Kabul Tarihi 27 Aralık 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10493728)

ATIF/REFERENCE: Önce, M. & Yılmaz, S. (2024). Tekirdağ ile İstanbul Arası Marmara Denizi'nde Müsilaj Tehlikesinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (53), 25-31.

Öz

Marmara Denizi'nde müsilaja neden olan koşulların güncel durumunun belirlenmesi için yapılan bu çalışmada çalışma alanından on adet deniz suyu numunesi alınmıştır. Alınan numunelerde ICP-OES cihazı ile ağır metal analizleri yapılmıştır. Ve anlık olarak pH, sıcaklık, tuzluluk ve çözülmüş oksijen analizleri yapılmıştır. Ağır metal analiz sonuçlarına bakılığında numune lokasyonlarında deniz suyu kriterlerinin sağlandığı görülmektedir. İç Sulara Ve Denizlerdeki İstihsal Yerlerine Dökülmesi Yasak Olan Zararlı Maddeler Ve Alıcı Ortama Ait Kabul Edilebilir Değerlere göre analiz sonuçları incelendiğinde Ca, Mg ve K değerlerinin bütün lokasyonlarda sınır değerlerini aştığı görülmektedir. Ayrıca numune lokasyonlarında çözülmüş oksijen değerlerinin düşüklüğü dikkat çekicidir. Sıcaklık, tuzluluk ve pH değerleri ise Marmara Denizi ortalama değerlerini sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Marmara Denizi, Ağır Metal, Müsilaj, Çözülmüş Oksijen

Mucilage Hazard on the Marmara Sea Coasts Between Tekirdağ and Istanbul

Abstract

In this study, which was carried out to determine the current status of the conditions causing mucilage in the Marmara Sea, ten seawater samples were taken from the study area. Heavy metal analyzes were performed on the samples taken with the ICP-OES device. And pH, temperature, salinity and dissolved oxygen analyzes were made instantly. Considering the heavy metal analysis results, it is seen that sea water criteria are met in the sample locations. When the analysis results are examined according to the Harmful Substances Prohibited from Being Spilled into Inland Waters and Marine Production Sites and the Acceptable Values for the Receiving Environment, it is seen that Ca, Mg and K values exceed the limit values in all locations. It is also noteworthy that the dissolved oxygen values are low in the sample locations. Temperature, salinity and pH values provide the average values of the Marmara Sea.

Keywords: Marmara Sea, Heavy Metals, Mücilage, Dissolved oxygen

* Sorumlu Yazar: monce@nku.edu.tr

1. Introduction

Considering the geological formation and strategic location of the Marmara Sea, its scientific importance is quite great. The Sea of Marmara, formed approximately 5-20 million years ago, is an inland sea located on the continental crust. Although its surface area is small compared to other seas, it has more than 1000 m deep pits. Thanks to the straits, the Black Sea and Mediterranean Sea waters, which have different hydrological and physical characteristics, are exchanged (Yümün and Kam, 2021; Kam and Yümün 2021).

Surface and bottom currents and hydrological differences create the unique characteristics of the Marmara Sea. Apart from these currents, there are no large flow water mass movements through streams in the Marmara Sea, especially on the Tekirdağ coast. Decreased or absent water transfer may lead to increased salinity and pollution due to evaporation, especially during the summer months. Because less transfer reduces the possibility of the sea cleaning itself. The coasts of the Marmara Sea are very risky in terms of industrial and domestic pollution (Yümün 2017; Yümün and Kam, 2019; Yümün et.a. 2022). In addition, overfishing, incorrect and excessive application of fertilizers and pesticides used in agricultural activities, intense maritime traffic and atmospheric convection are other issues that create stress on the Marmara Sea. Mass fish deaths and eutrophication, which occur periodically in the Marmara Sea, may occur as a result of these pollutions. Especially in recent years, mucilage (sea saliva) covers the sea surface, creating environmental pollution and threatening marine life. The mucilage formed in the Sea of Marmara did not disappear from the sea surface for a long time and prevented sunlight from entering the inner parts of the sea. With the lack of sunlight, in-sea photosynthesis has come to a halt and accordingly, dissolved oxygen values in the sea have decreased. Decreasing oxygen in the environment means flora and fauna are in danger. Mucilage, also known as sea saliva or sea snot, is a ball-shaped substance consisting of a slime-like transparent substance, dead algae, and organic and inorganic substances (Yümün et. al. 2023). Although it is not dangerous at first, the organic and inorganic pollutants it contains pass into the water over time (Yümün and Önce 2017; Dinçer et.al.2019; Kam et. al. 2021; Yümün and Önce Nişancıoğlu 2023).

Mucilage is triggered depending on environmental conditions. Mucilage has been seen in many regions of the world from past to present. Mucilage may last for several days or months. The incidence of massive mucilaginous aggregates is increasing in the oceans, especially in the Mediterranean, the Pacific Ocean and the North Sea, the Southern Bay of Biscay (off the coast of France), and in recent years off the coasts of the USA such as California (Alldredge et.al. 2002; Rouaud et.al. 2019). The first case of mucilage in Turkey was observed in Erdek Bay in 1992 (Koncagül et. al. 2022; Tüfekçi et.al. 2010). Between 2020-2021, a dense mucilage covering a large surface area was observed in the Marmara Sea. In diving studies, it was measured that the mucilage density in the mucilage region varies between 5 and 25 m depth (Karadurmuş and Sarı 2022; Polat et.al.2023). Mucilage is a formation rich in bacteria and organic matter, such as E-coli (Kayhan and Yön Ertuğ, 2022, Yüksek 2021). Research has shown that mucilage formation is caused by organisms such as phytoplankton, diatoms, benthic macroalgae, cyanobacteria, and heterotrophic bacteria (Mecozzi et.al. 2001; Aydın 2021). Many studies have been conducted on mucilage formation and its effects in the study area (Yümün et.al. 2022; Yümün and Kam 2019; Öztürk and Ediger 2023; Yümün et. al. 2021). Initial examinations revealed that the mucilage was of organic origin. Mucilage spread rapidly to cover most of the Sea of Marmara, and was especially concentrated in coastal areas to attract people's attention (Yücel et.al. 2021). When we look at the study area, it is seen that industry, tourism and agricultural activities and population are dense. There is no large-scale river flowing into the region. The absence of rivers reduces the sea's ability to clean itself. These factors leave the Marmara Sea vulnerable to pollution. No large-scale formation was observed after the mucilage seen in 2021, but a small amount of mucilage formation occurred in the spring of 2023.

2. Material and Method

2.1. Study Area Geology

Although the symmetrical shape of the arc is interrupted by the shelf advancing towards the sea off the coast of Büyük Çekmece, its width largely depends on the structure of the coast. Off the coast of Tekirdağ, it runs completely parallel to the coast and ends at the entrance of the Ganos Mountains. The shelf is connected to the Marmara depressions with very high slopes and steep, narrow and deep valley systems. This situation causes sediments to accumulate in remote areas of the shelf, and the depressions are filled with turbidite currents (Smith et.al. 1995, Aksu et.al. 1999; Kam and Önce 2016; Yümün 2016).

The Thrace Basin, which covers the inner parts of the Thrace Peninsula, forms an elevated structure in most areas on the northern coast of the Marmara Sea. The terraces seen here and there along the coast are evidence that this coast is elevated. It is estimated that before this rise, the Ergene River drained into the Marmara Sea and carried the sediments that filled the Tekirdağ depression in this sea. However, it has been claimed that as a result of the elevation of the southern edge of the basin, this river began to flow into the Aegean Sea via the Enez River (Okay et.al. 1999).

2.2. Analysis Method

Field and laboratory analyzes were carried out to investigate the current effects of sea saliva in the Marmara Sea. During field studies, seawater and mucilage samples were taken from ten points in the Marmara Sea between the coasts of Tekirdağ and Istanbul (Figure 1, Table 1). For analysis, around 500 ml of sample was taken from the dirty seawater in the mucilage area. The samples taken were brought to the laboratory for analysis by paying attention to sample storage methods. In these samples, Na, M, K, Ca, P, Fe, B, P, Cu, Mn, Zn, As, Bi, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Pb, Sb, Hg, Al elements were analyzed. For heavy metal analyses, 15 g of water samples are taken and completed up to 50 ml with ultra-purified water. This prepared water sample is filtered with the help of filter papers. The prepared samples are placed in the measurement unit of the ICP-OES device and readings are made. Physical analyzes were

performed instantly at sample locations. In these analyses, EcoSence Brand DO200A Model portable oxygen meter, Trans Instruments brand HP3040 pH, ORP/mV model portable pH and electrical conductivity meter, ZAG INSTRUMENTS brand ATC model portable salinity meter, Multitermeometer brand (-50 - +150 0C) capacity portable thermometer used (Yümün et.al. 2016; Yümün et.al. 2019; Bayrak et.al. 2022).

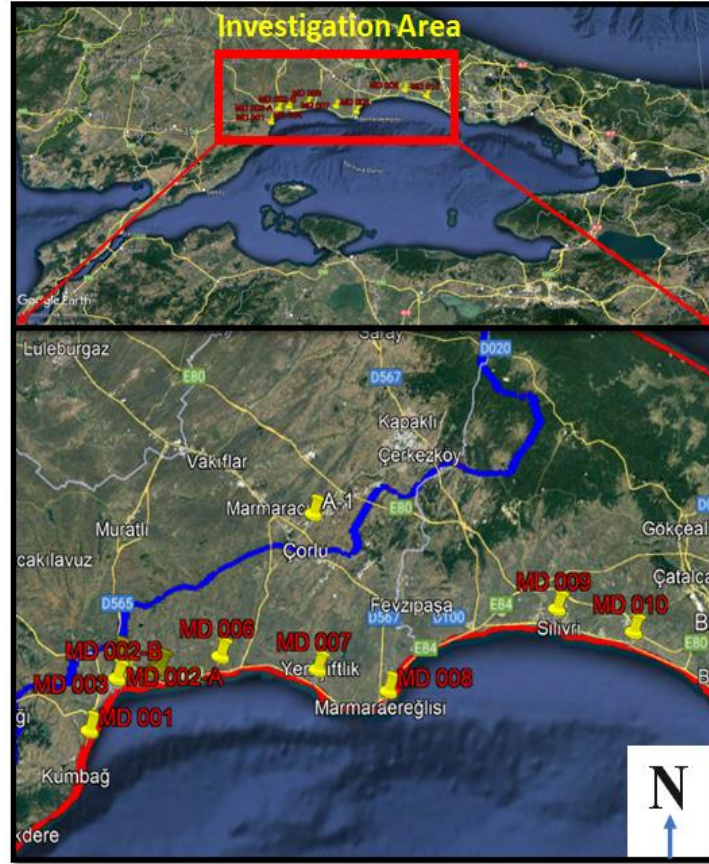


Figure 1. Study area map

Table 1. Study area sample locations

| Sample No | Coordinates | |
|-----------|-------------|------------|
| | Doğu (X) | Kuzey (Y) |
| MD 001 | 539485.01 | 4528494.22 |
| MD 002-A | 542625.88 | 4535579.84 |
| MD 002-B | 542597.66 | 4535539.77 |
| MD 003 | 543539.46 | 4536160.51 |
| MD 004 | 547626.82 | 4536806.16 |
| MD 005-A | 548537.64 | 4537191.23 |
| MD 005-B | 548573.48 | 4537186.40 |
| MD 006 | 556881.09 | 4539234.09 |
| MD 007 | 570697.37 | 4538162.60 |
| MD 008 | 580821.61 | 4535801.16 |
| MD 009 | 603957.14 | 4548027.37 |
| MD 010 | 614856.94 | 4545466.72 |

3. Results and Discussion

The analysis results of water samples taken between Tekirdağ and Istanbul are shown in table 3. The analysis results obtained from the study area were interpreted according to the relevant values in the Water Pollution Control Regulation. In the analyses, measurements of the elements Cu, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Pb, P, Hg, Fe, As, Mn, Zn, Al, Na, Mg, K, Ca, B, Bi, Sb were carried out. As a result of the analysis, P, Cu, Mn, Zn, As, Bi, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Pb, Sb, Hg, Al elements were below the measurement limits of the device. Table 2 gives the measurement limit values of the elements.

Table 2. Measurement limit values of the elements

| LOD <1ppb | | | | | | | | | |
|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Be | Ca | Mg | Sr | Ba | Y | Zn | Yb | Er | |
| Lu | Co | Al | Dy | Tm | Fe | Eu | Hb | | |
| Ag | Cd | Mn | Ti | V | Sc | Gd | La | | |
| LOD: 1-10 ppb | | | | | | | | | |
| B | Si | W | Cu | Au | Nb | Nd | | | |
| Rh | Pd | Ni | Pt | Zr | Pr | Ru | | | |
| Tb | Cr | Ir | Ga | Ce | Mo | Sm | | | |
| LOD:10-100 ppb | | | | | | | | | |
| P | Ge | As | Se | Rb | In | Sn | Te | Cs | Hf |
| Ta | Re | Os | Hg | Ti | Pb | Bi | Th | U | Sb |

Table 3. Heavy metal analysis results of samples

| Sample | Na | Mg | K | Ca | Fe | B |
|-------------------|----------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| md-001 | 6609.01 | 947.84 | 393.25 | 309.71 | 0.07 | 3.39 |
| md-002 | 6257.54 | 905.90 | 372.43 | 297.81 | 0.07 | 3.18 |
| md-002- discharge | 119.99 | 18.92 | 30.26 | 40.90 | 0.10 | 0.12 |
| md-003 | 6653.74 | 929.83 | 383.97 | 309.39 | 0.06 | 3.23 |
| md-004 | 6305.83 | 940.50 | 378.71 | 302.50 | 0.06 | 3.14 |
| md-005 | 6588.53 | 976.03 | 384.47 | 314.94 | 0.12 | 3.21 |
| md-005- discharge | 326.46 | 70.56 | 35.45 | 64.69 | 0.14 | 0.16 |
| md-006 | 6568.27 | 955.04 | 382.51 | 314.90 | 0.06 | 3.20 |
| md-007 | 6436.41 | 943.35 | 377.11 | 305.80 | 0.05 | 3.23 |
| md-008 | 6413.57 | 940.28 | 374.38 | 305.57 | 0.05 | 3.14 |
| md-009 | 6577.96 | 936.55 | 382.47 | 305.75 | 0.05 | 3.16 |
| md-010 | 6612.83 | 958.57 | 386.72 | 314.74 | 0.06 | 3.22 |
| * | - | - | - | - | 0.10 | - |
| ** | 85 mg/l | 14mg/l | 50mg/l | 800 mg/l | 0,7 mg/l | 3,0 mg/l |
| *** | - | - | - | - | - | - |
| **** | - | - | - | - | 10mg/l | - |

*General Quality Criteria of Sea Water (Regulation 1, Table-4)

**Harmful Substances That Are Forbidden To Be Poured Into Inland Waters And Seas And The Acceptable Values Of The Receiving Environment (Regulation 2, Annex-5)

*** Wastewater Standards For Discharge Of Wastewater To Wastewater Infrastructure Facilities (Regulation 1, Table 22).

**** Discharge Standards of Mixed Industrial Wastewaters to the Receiving Environment (Small and Large Organized Industrial Zones and Other Industries whose Sector Cannot Be Determined) (Regulation 1, Table 19)



Figure 2. Locations where samples were taken: Tekirdağ coastal shores

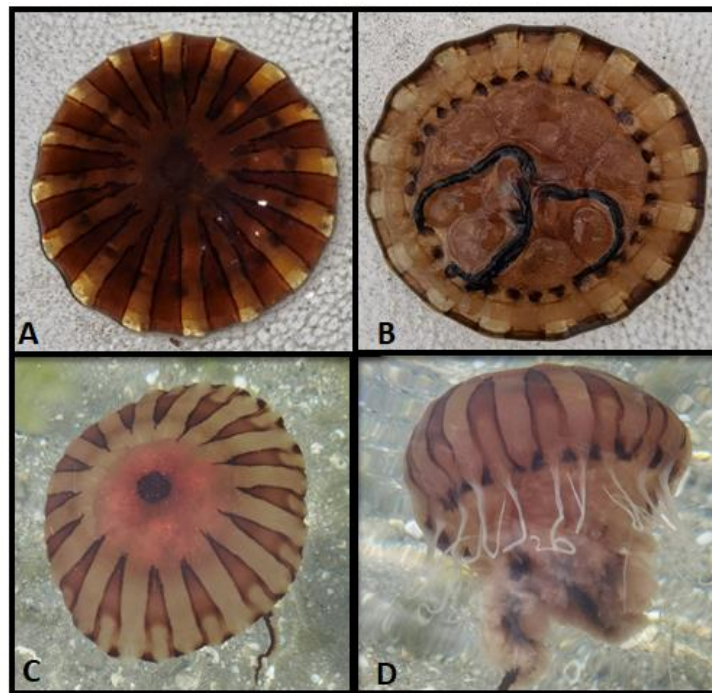


Figure 3. Algal species identified in mucilage samples(*Chrysaora hysoscella*)

4. Conclusions and Recommendations

All results obtained from the study area: General Quality Criteria of Sea Water (Regulation 1, Table-4), Harmful Substances Prohibited from Being Discharged into Inland Waters and Production Sites in the Seas and Acceptable Values for the Receiving Environment (Regulation 2, Annex-5), Mixed Industrial Wastewaters According to the limit values in the aquatic environment of the elements specified in the Discharge Standards to the Receiving Environment (Small and Large Organized Industrial Zones and Other Industries for which Sector Determination Cannot Be Made) (Regulation 1, Table 19) and the Wastewater Standards Envisaged for the Discharge of Wastewater to Wastewater Infrastructure Facilities (Regulation 1, Table 22) has been evaluated.

Concentration of Cu, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Pb, P, Hg, Fe, As, Mn, Zn, Al, Na, Mg, K, Ca, B, Bi, Sb elements in the water samples taken by ICP-OES values were analyzed. In the study area analysis results, P,Cu,Mn,Zn,As,Bi,Cd,Co,Cr,Mo,Ni,Pb, Sb,Hg, Al values were found to be 0 ppm. When the instantaneous pH measurement results at the locations are examined, all locations meet the SKKY sea water general quality criteria. In addition, the analysis results show that the sampled areas generally meet the sea water criteria. Only the Fe value (0.14 mg/L) in the sample taken from the md-005- discharge point exceeds the limit value in terms of sea water criteria. When Ca, Mg and K values are examined, it is seen that the limit values are exceeded in all locations. When the dissolved oxygen values of the Marmara Sea Tekirdağ coasts are examined, it is seen that the values in the surface area are suitable for vital activities. But studies prove that the amount of dissolved oxygen decreases as you go to the bottom (Yücel et. al. 2021).

There are some factors that support the accumulation of organic matter in the marine environment and the formation of mucilage. In low ionic strength and high pH conditions in the environment, electrostatic repulsions increase due to the negative poles between organic substances (Mosley and Hunter, 2003). Conversely, at low pH resulting from high ionic strengths and anoxic conditions, electrostatic repulsions are minimized and particle aggregation increases. These anoxic conditions may explain the formation of synthetic mucilages.

When the dissolved oxygen value in the marine environment is low, the pH value also decreases. When dissolved oxygen is high, pH values also increase. The total ion content of seawater is expressed by electrical conductivity. In seawater, this value (standardized electrical conductivity at 25°C) varies between 51,750 and 55,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Özyurt et al., (2001). Since the electrical conductivity depends on the ion concentration, it also changes the acidity of the environment. Electrical conductivity can be considered as one of the preliminary evaluation parameters for the determination of pollution in aquatic environments.

Kaynakça

- Allredge, A.L., Crocker, K.M. (1995). "Why do sinking mucilage aggregates accumulate in the water column?" *Science of the Total Environment*, 165:15–22.
- Aksu A.E., Yaşar D. and Uslu O., (1997). "Assessment of marine pollution in İzmir Bay: Heavy metal and organic compound concentrations in surficial sediments.
- Aydın, M.E. (2021). "Musilage formation in Marmara Sea Possible causes and recommendations".
- Bayrak K., Kam E., Yümün Z.Ü., Önce M. (2022). "Investigation of Heavy Metal Concentrations in the Gul of İzmit (Marmara Sea) Altinova Shipyard Region". *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*. 9,4, 1263-1276.
- Diñçer, A. R., Yümün, S., Önce, M., Yümün, Z.,Ü., (2019). "Investigation of inland pollution using Total Carbon (TC), Total Organic Carbon (TOC), Inorganic Carbon (IC), Total Nitrogen (TN) and TOC/TN ratios". *Applied Ecology And Environmental Research*.
- Kam, E, Önce, M, (2016). "Pollution Potential of Heavy Metals in The Current Sea Sediments Between Bandırma (Balıkesir) and Lapseki (Çanakkale) in the Marmara Sea". *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences* 1 (3) : 141-148.
- Kam, E, Yümün Z,Ü, (2021). "Geographical distribution of toxic elements in Northeast Marmara Sea sediments and analysis of toxic element pollution by various pollution index methods (Istanbul/Turkey)." *Applied Ecology And Environmental Research* 19 (3), 1869-1893.
- Kam, E., Yümün, Z. Ü., Açıkgöz, G., Önce, M. (2021). "Investigation of Sediment Records of Kulakçayırı Lake (Istanbul)." *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences* 6 (3) : 135-142.
- Karadurmuş U., Sari M., (2022), "Marine mucilage in the sea of Marmara and its effects on the marine ecosystem: mass deaths", *Turkish Journal of Zoology*, 46(1), 93-102.
- Kayhan, E. and Yön, Ertuğ, D. (2022). "Mucilage Problem and Its Characterization". *Voice of nature*.4-16.
- Koncagül M., Erdem Dülger N., Yinanç A. (2022). *Dünyada ve Marmara Denizi'nde Müsilaj Oluşumu ve Etkileri*. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*. 5(2), 73-79.
- Mecozzi M., Acquistucci R., Di Noto V., Pietrantonio E., Amici M., Cardarilli D., (2001). "Characterization of mucilage aggregates in Adriatic and Tyrrhenian Sea: structure similarities between mucilage samples and the insoluble fractions of marine humic substance," *Chemosphere*, 44(4), 709-720.
- Mosley, L., Hunter, K.H. (2003). "Forces between colloid particles in natural waters". *Environmental Science and Technology*, 37:3303–3308.
- Okay A. I., Demirbağ E., Kurt H., Okay N. and Kuşçu İ.,(1999). "An activite deep marine strike slip basin along the North Anatolian Fault in Turkey", *Tectonics*, vol.18, no. 1, pp. 129-147.
- Öztürk İ.D. and Ediger D. (2023). "Effects of mucilage on the optical properties of water column in the Sea of Marmara." *J. Black Sea/Mediterranean Environment*. 29 (1), 73-86.
- Özyurt, N.N., Bayarı, C.S., Doğdu, M., Arıkan, A., (2001), "Processes affecting physical and chemical properties of sea water in Akkuyu Bay (Mersin)." *Journal of Earth Sciences*, 24, 113-126. (In Turkish)

- Polat E., Ünver H., Altınbaş M. (2023). "Mucilage Formation and Ecology. Artvin Çoruh University." *Journal of Natural Hazards and Environment*. 9(2), 385-403.
- Rouauda, V., Susperréguib, N., Fahya, A., Guyoneauda, R., Bichonc, S., Liénartc, C., Del Amoc, Y., Savoyec, N., Gaudinde, P., Durana, R., Lauga, B. (2019). "Dynamics of microbial communities across the three domains of life over an annual cycle with emphasis on marine mucilage in the Southern Bay of Biscay resolved by microbial fingerprinting". *Continental Shelf Research*, 186: 127-137.
- Smith A.D., Taymaz T., Oktay F., Yüce H., Alpar B., Başaran H., Jackson J.A., Kara S., Şimşek M. (1995). "High-resolution seismic profiling in the Sea of Marmara (northwest Turkey): Late Quaternary sedimentation and sea-level changes". *GSA Bulletin*. 107(8), 923-936.
- Tüfekçi V., Balkis N., Beken C.P., Ediger D. ve Mantıkcı M. (2010). "Phytoplankton Composition and Environmental Conditions of the Mucilage Event in the Sea of Marmara". *Turkish Journal of Biology*, Sayı: 34, 199 – 210.
- T.R. Regulation -1: (Change: RG-17/12/2022-32046). *Water Pollution Control Regulation, Characteristics of Domestic/Urban Wastewaters Allowable for Deep Sea Discharge and Characteristics of Industrial Wastewaters for Allowable Deep Sea Discharge.* (In Turkish)
- T.R. Regulation -2: Fisheries Regulation, (3) (10.03.1995-22223 Official Gazette): APPENDIX-5: List of Harmful Substances Prohibited to be Poured into Inland Waters and Production Places in the Seas and Acceptable Values of the Receiving Environment, 2- Acceptable Values of the Receiving Environment, A- Chemical Substances.
- TS EN ISO 5667-3 Mart 2007 Water Quality-Sampling-Part 3: Guidelines for Conservation, Transport and Storage of Water Samples.
- Yücel, M., Özkan, K., Fach, B., ve diğ. (2021). "Ecology of the Marmara Sea: Sea Saliva Formation, Interactions and Solution Suggestions". *Turkish Academy of Sciences, Ankara*.
- Yüksek, A. (2021). "Causes of sea saliva/mucilage in the Marmara Sea, Ecology of the Marmara Sea: Sea Saliva Formation, Interactions and Solution Suggestions". 87-104. TUBA.2021.001.
- Yümün Z.Ü. (2016). "The effects of heavy metal concentrations in the Çanakkale strait (Turkey): morphological differences in the Holocene foraminiferal assemblages." *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*. 1,2, 77-88.
- Yümün Z.Ü., Kam E., Önce M., Açıkgöz G. (2016). "Stratigraphic and Geochemical Characteristics of Kulakçayırı Lake (Istanbul/Turkey) And Its Vicinity." *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*. 1,2, 69-75.
- Yümün, Z. Ü., Önce, M. (2017). "Monitoring Heavy Metal Pollution in Foraminifera from The Gulf of Edremit (Northeast Aegean Sea) Between İzmir, Balıkesir And Canakkale (Turkey)." *Journal of African Earth Sciences* 130: 110-124.
- Yümün, Z. Ü. (2017). "The Effect of Heavy Metal Pollution on Foraminifera in the Western Marmara Sea (Turkey)." *Journal of African Earth Science* 129: 346-365.
- Yümün Z.Ü. and Kam E. (2019). "Analysis and Correlation of Element Concentrations of Marine Sediments between Silivri (İstanbul) and Dardanelles by ICP-OES and LIBS Methods." *Journal of Europe Science and Technology*. 17, 951-958.
- Yümün, Z. Ü., Kam, E., Önce, M. (2019). "Analysis of Toxic Element with Icp-Oes and Libs Methods in Marine Sediments Around the Sea of Marmara in Kapıdağ Peninsula." *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences* 4 (1) : 43-50.
- Yümün Z. Ü. And Kam E. (2019). "Ecological analysis of heavy metal and radioactivity potential of Holocene sediments in Iznik Lake." *NUKLEONIKA*, 64(3):103–109.
- Yümün Z.Ü., Kam E., Dinçer A.R., Önce M. Yümün S. (2021). "The investigation of toxic element pollution and radioactivity analyses of marine sediments in the Gulf of Gemlik." *Applied Ecology And Environmental Research* 19(2):881-900.
- Yümün, Z.,Ü. and Kam, E., (2021). "Mucilage Problem and Solution Methods in The Sea of Marmara." *Turkish Academy of Science*.
- Yümün Z.Ü., Aslıyüksek H., Yentür M., M., Önce M. (2022). "Measurement of Heavy Metal Concentrations of Marine Sediments in Yalova Section of Marmara Sea By LIBS Method and Evaluation of Pollution By Principal Component Analysis." *Journal of Cihannuma Technology Engineering and Natural Sciences*.1(1), 101-117.
- Yümün Z.,Ü, Kam E., Önce M. (2023). "Causes of Sea Saliva (Mucilage) Formation in the Sea of Marmara and Precautions to be Taken." *Journal of Environment City and Climate*.2(3), 98-115.
- Yümün Z.Ü. and Önce-Nişancıoğlu M. (2023). "The role of organic and inorganic substances in sediment pollution in the Marmara Sea between Gemlik (Bursa) and Bandırma (Balıkesir) and their effect on foraminifera." *Applied Ecology And Environmental Research* 21(4):3363-3390.



Kontrollü Şartlarda Üretilen Kandirif Peynirinin Kalite Nitelikleri Üzerine Farklı Kızartma Ortamlarının Etkisi*

Özgül Çinici^{1†}, Salih Özdemir²

^{1*} Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0009-0001-7072-9273), ozgulcinici@gmail.com

² Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8576-3327), ozdemirs@atauni.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi: 20 Haziran 2023 ve Kabul Tarihi: 04 Aralık 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10551847)

ATIF/REFERENCE: Çinici, Ö. & Özdemir, S. (2024). Kontrollü Şartlarda Üretilen Kandirif Peynirinin Kalite Nitelikleri Üzerine Farklı Kızartma Ortamlarının Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (53), 32-42.

Öz

Bu çalışmada Kandirif peynirinin kontrollü şartlarda (fabrika şartlarında) yapımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yapılan Kandirif peynir örnekleri farklı ortamlarda kızartılmış ve bu farklı kızartma şartlarının peynir kalitesine etkisi saptanarak en ideal kızartma metodu tespit edilmeye çalışılmıştır. Kızartılmamış ve farklı şekillerde kızartılan Kandirif peyniri örneklerinin TAMB sayısı 3,09 log kob/g ile 7,22 log kob/g arasında, Laktobasil sayısı 3,09 log kob/g ile 7,22 log kob/g arasında, Laktokok sayısı 3,06 log kob/g ile 7,26 log kob/g arasında ve maya-küf sayısı 1,91 log kob/g ile 5,83 log kob/g arasında değişmiştir. Kızartılmamış Kandirif peynirinde en yüksek düzeyde koliform grubu bakteri sayısı (4,99 log kob/g) belirlenirken, tüm kızartılan Kandirif peynirlerinde koliform grubu bakteri sayısı tespit edilebilir sınırın altında (<1,00 log kob/g) bulunmuştur. Peynir örneklerinin kuru madde oranı %52,25±1,46 ile %59,77±0,39 arasında, yağ oranı % 23,00±0,00 ile % 27,00±0,71 arasında, kuru madde'de yağ oranı % 44,19±0,30 ile % 49,32±0,75 arasında, protein oranı %18,95±0,64 ile %22,55±1,04 arasında, suda çözünen protein oranı %1,41±0,01 ile %1,94±0,26 arasında, olgunlaşma derecesi %7,32±0,05 ile %10,24±0,25 arasında, kül oranı %4,74±0,07 ile %5,91±0,25 arasında, tuz oranı %4,32±0,05 ile %5,57±0,13 arasında ve kurumadde'de tuz oranı %8,27±0,08 ile %10,18±0,15 arasında değişmiştir. Kızartılmamış peynir örneklerinin kurumadde, yağ, kül ve tuz oranı kızartılmış peynir örneklerinden daha düşük bulunurken, protein, tuz ve kurumadde de tuz oranları daha yüksek bulunmuştur. Kandirif peyniri örneklerinin titrasyon asitliği %1,42±0,25 ile %1,77±0,13 arasında, pH derecesi 4,71±0,01 ile 4,80±0,01 arasında ve delme kuvveti de 6,36±0,88 N ile 13,77±0,16 N arasında değişmiştir. Kızartılmamış örnekler delmeye karşı en yüksek direnci gösterirken, tavada kızartılan örneklerin delme işlemine gösterdiği direnç en düşük düzeyde kalmıştır. Kızartılmamış örneğin *L** renk değeri (88,57±0,74), kızartılmış örneklerinkinden daha düşük bulunmuştur. Panelistler mangalda kızartılan Kandirif peynir örneklerini, ısıtıcı plakada ve tavada kızartılan örneklerden daha çok beğenmişlerdir. Bu durumun mangaldaki yanmış kömürün peynir üzerindeki tütsüleyici etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kandirif peyniri, Fiziksel özellik, Kimyasal özellik, Duyusal özellik, Tekstür.

The Effect of Different Frying Procees on Quality Characteristics of Kandirif Cheese Produced Under Controlled Conditions

Abstract

In this study, production of Kandirif cheese was carried out under controlled conditions (factory conditions). The prepared Kandirif cheese samples were fried in 3 different methods and the effect of these different frying conditions on the cheese quality was determined and the most ideal frying method was tried to be determined. TAMB number of unfried and fried Kandirif cheese samples ranged from 3.09 log cfu/g to 7.22 log cfu/g, Lactobacillus count ranged from 3.09 log cfu/g to 7.26 log cfu/g, Lactococcus count ranged from 3,06 to 7.26. The number of yeasts and molds varied between 1.91 log cfu/g and 5.83 log cfu/g. While the highest level of coliform bacteria count (4.99 log cfu/g) was determined in unfried Kandirif cheese, it was found below the detectable limit (<1.00 log cfu/g) in all fried Kandirif cheese. Dry matter ratio of cheese samples was between 52.25±1.46% and 59.77±0.39%, fat content 23.00±0.00% and 27.00±0.71%, fat content in dry matter 44.19±0.30% and 49.32±0.75%, protein ratio 18.95±0.64% and 22.55±1.04%, water-soluble

* *Bu çalışma Özgül Çinici'nin Yüksek Lisans Tezinden alınmıştır.

† Sorumlu Yazar: ozgulcinici@gmail.com

protein ratio $1.41 \pm 0.01\%$ and $1.94 \pm 0.26\%$, ripening degree $7.32 \pm 0.05\%$ and $10.24 \pm 0.25\%$, ash content $4.74 \pm 0.07\%$ and $5.91 \pm 0.25\%$, salt content $4.32 \pm 0\%$ and $5.57 \pm 0.13\%$, the salt content in dry matter $8.27 \pm 0.08\%$ and $10.18 \pm 0.15\%$. While the dry matter, fat, ash and salt ratios of the unfried cheese samples were lower than that of fried cheese samples, the protein, salt and dry matter salt ratios were found to be higher. The titration acidity of Kandirif cheese samples were between 1.42 ± 0.25 and $1.77 \pm 0.13\%$, the pH degree were between 4.71 ± 0.01 and 4.80 ± 0.01 , and the puncture force were 6.36 ± 0.88 N and 13.77 ± 0.16 N. While non-fried samples showed the highest resistance to puncture, pan-fried samples showed the lowest resistance to puncture. The L^* color value of the unfried sample (88.57 ± 0.74) was lower than that of the fried samples. Panelists liked the Kandirif cheese samples fried on the barbecue more than the samples fried on the hot plate and on the pan. This is thought to be due to the smoking effect on the cheese of the burnt coal at the barbecue.

Keywords: Kandirif cheese, Physical property, Chemical property, Sensory property, Texture.

1. Giriş

Peynir, genel olarak, sütün pıhtılaştırılması, pıhtıdan peyniraltı suyunun ayrılması ve daha sonra pıhtının işlenmesiyle elde edilmektedir. Peynir dünyada fazla tüketilen ve yüksek düzeyde ticareti yapılan bir gıdadır. Türkiye’de peynir çeşitliliği fazla olup ülkemizde 150’den fazla peynir çeşidinin olduğu düşünülmektedir. Bu peynirlerin büyük kısmı yerel ihtiyacı karşılayacak düzeyde iken, bazı peynir çeşitleri ülke çapında yaygınlaşmıştır (Kamber ve Terzi, 2008). Ulusal Süt Konseyi raporuna göre 2019 yılında ülkemiz genelinde toplam 22.960.379 ton çiğ süt ve 756.646 ton peynir üretilmiştir (Anonim, 2021).

Erzurum ili Olur ilçesi kırsal alanlarda yöresel olarak üretilen bir peynir çeşidi olan Kandirif peynirinde standart bir üretim tekniği bulunmamaktadır. Geleneksel olarak üretilen bu peynir çeşidinde, sütün asitlendirilmesi, mayalama, pıhtı eldesi ve tuzlama gibi klasik üretim aşamalarındaki şartlar üreticiler arasında farklılık arz etmektedir. Bu peynirin yapımında kontrollü şartlarda standart bir üretim tekniği uygulanmadığı için farklı üreticilerin elde ettiği Kandirif peynirinin fizikokimyasal özellikleri de farklılık gösterebilmektedir. Üretim tekniği bakımından, Kandirif peyniri Erzurum Civil, Kaşar, Mengen ve Hellim peynirine benzerlik göstermektedir. Civil peynir ekşitilmiş yağsız süttten yapılırken, Kandirif peyniri ekşitilmiş yağlı süttten yapılmaktadır. Bilhassa Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetinde üretilen Hellim (Helloumi) peynirinin yapımında ise üretilen peynir kalıpları 80°C ’nin üzerindeki sıcak peynir altı suyu içinde 10 dakika haşlandıktan sonra, piyasaya arz edilmekte, tüketici tarafından tavada yağsız kızartma yapılarak tüketime arz edilmektedir. Kaşar ve Hellim peynirleri gibi Kandirif peynirinde de pıhtıya haşlama işlemi uygulanmaktadır. Kandirif peynirinin yapımında ise Hellim peynirine uygulanan hem pıhtı haşlama ve hem de peynir kızartma işlemi uygulanmaktadır. Hellim peynirinde pıhtı haşlama işlemi 80°C ’de, Kandirif peynirinde $56-60^{\circ}\text{C}$ ’de 5-10 dakika arasında yapılmaktadır. Bununla birlikte, tüketim aşamasında Hellim peyniri tavada kızartılırken, Kandirif peyniri ise genellikle tavada ve odun ateşinde kızartılmakta ve bu aşamada tutsüleme işlemi de gerçekleştirilmektedir. Üretim tekniğindeki bu farklılıklar Kandirif peyniri gibi farklı bir peynir çeşidi ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle Kandirif peynirinin yapılışı Civil peynire, kızartıldıktan sonra tüketimi ise Hellim ve Mengen peynirine benzediğinden dolayı analiz sonuçları Hellim, Mengen ve Civil peyniri ile karşılaştırılacaktır.

Türk standartlarında (TS12513) (Anonim, 2018) taze Hellim peynirinde kuru maddede yağ oranı en az %43, olgun peynirde %40, su oranı taze peynirde en fazla %46 olgun peynirde %37, pH değeri en fazla 6,6, kuru maddede tuz oranı ise taze peynirde %3-5 ve olgun peynirde %6-10 arasında olması istenmektedir. TS 12513 “Hellim Peyniri” (Anonim, 2018) standardına göre Hellim peynirinde su içeriğinin en çok %50, kuru maddede tuz oranının en çok %12 ve laktik asit cinsinden titrasyon asitliğinin ise en çok %3,5 olması istenmiştir. Yağ içeriği açısından ise, Hellim peyniri iki tipe ayrılmış ve en az %40 kuru maddede yağ içeren peynir tam yağlı, en az %30 içeren peynire ise yarım yağlı Hellim peyniri olarak sınıflandırılmıştır.

Erzurum ilinin Olur ilçesi Kekikli köyünde aile işletmelerinde Kandirif peynirinin yapılışı tarafımızca takip edilmiştir. Burada yapılan incelemeler ışığında Kandirif peyniri kontrollü şartlarda (fabrika şartlarında) yapılmış ve laboratuvarında bazı mikrobiyolojik, fiziksel ve kimyasal analizlere tabi tutulmuştur. Ayrıca yapılan Kandirif peyniri örnekleri 3 farklı şekilde kızartılmış (tava, ısıtıcı plaka ve odun kömürü mangal ateşi) ve bu farklı kızartma metotlarının Kandirif peynirinin fiziksel, kimyasal, tekstürel ve duyuşal özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Kandirif peyniri yapımında kullanılan süt ve kullanılan ticari sıvı şirden mayası Atatürk Üniversitesi Pilot Süt Fabrikasından temin edilmiştir.

2.2. Metot

2.2.1. Kandirif Peynirinin Kontrollü Şartlarda (Fabrika Şartlarında) Yapılışı

Kandirif peyniri yapmak üzere 20 L süt alınarak (asitlik 7,55 SH) içerisine buhar enjekte edilerek sıcaklığı 20°C ’ye çıkarılmış ve 1,5 L peyniraltı suyu (asitlik 35,5 SH) katılarak asitliği önce 9,45 SH’ya çıkarılmıştır. Asitliği artırılan süt içerisine buhar verilerek sıcaklığı 30°C ’ye çıkarılmış ve 500mL daha peyniraltı suyu katılarak asitlik 10,30 SH’ya ulaştırılmıştır. Sütün sıcaklığı 40°C ’ye geldiğinde 3 mL sıvı şirden mayası ilave edilerek 30 dakika beklenmiştir. Daha sonra sıcak buhar injeksiyonu ile ısıtma devam edilirken karıştırılmıştır. Sıcaklık 56°C ’ye geldiğinde pıhtı tamamen hamur haline geldiği görüldüğünden ısıtma işlemi sona erdirilmiş ve pıhtı 56°C ’lik kendi peynir altı suyunda 5 dakika pişirmiştir. Dışarıya çıkarılan pıhtı önce eşit büyüklüklerde parçalara ayrılarak, fazla suyu

dışarı atmak için göbek bağlatılmıştır. Daha sonra elle bastırılarak yaklaşık 3 cm kalınlıkta ve yaklaşık 18 cm çapında inceltiştir. Bu peynirler %2 oranında kuru tuzlandıktan sonra oda sıcaklığında ($18 \pm 2^\circ\text{C}$) 12 saat muhafaza edilmiştir. Daha sonra peynir örnekleri oda sıcaklığında 24 saat dinlendirilerek peynir örneklerinden sıızan suyun dışarıya alınması sağlanmıştır. Bu peynir örnekleri steril ambalajlara konularak buzdolabı şartlarında ($4 \pm 1^\circ\text{C}$) muhafaza edilmiştir (Özdemir vd., 2022). Hazırlanan peynir örnekleri; **K**: Kızartılmamış Kandirif peyniri **M**: Mangalda kızartılmış Kandirif peyniri, **H**: Isıtıcı Plakada kızartılmış Kandirif peyniri, **T**: Tavada kızartılmış Kandirif peyniri şeklinde kodlanmıştır.

2.2.2. Kandirif peynirinin kızartılması

Tavada kızartma

Tavaya konulan Kandirif peynir örnekleri kısık tüp ateşinin üzerinde her 2 tarafı 3'er dakika olmak üzere toplam 6 dakika kızartılmıştır. Kızartma başlamadan önce tava 2 dakika ısıtılmıştır (Şekil 1). Bu süreler ön denemelerle tespit edilmiştir.



Şekil 1. Tavada kızartılan Kandirif peynir örnekleri (Figure 1. Kandirif cheese samples fried on a pan)

Isıtıcı plakada kızartma

Isıtıcı plakanın sıcaklığı 105°C 'ye getirilmiştir. Daha sonra Kandirif peyniri örneklerinin her iki yüzü 3'er dakika olmak üzere toplam 6 dakika kızartılmıştır (Şekil 2). Bu süre ve sıcaklık dereceleri ön denemelerle belirlenmiştir.



Şekil 2. Isıtıcı plakada kızartılan Kandirif peynir örnekleri (Figure 2. Kandirif cheese samples fried on a hot plate)

Mangal ateşinde kızartma

Önce odun kömürü kor haline getirilmiştir. Daha sonra mangalın delikli tablası mangaldan 15 cm yükseklikte peynir örneklerinin her 2 yüzü 3'er dakika olmak üzere kızartılmıştır. Bu süreler ve yükseklik ön denemelerle tespit edilmiştir.

2.2.3. Süt ve Peyniraltı Suyu (PAS) Örneklerinde Yapılan Analizler

Süt ve PAS örneklerinin pH değerleri pH metre ile $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de tespit edilmiştir (Öner ve Aloglu, 2018). Süt ve PAS örneklerinde titrasyon asitliği %laktik asit olarak belirlenmiştir (Kurt vd., 2012). Kuru madde tayininde kaplara süt ve PAS örnekleri tartılmış ve $100 \pm 5^\circ\text{C}$ 'deki etüvde 3 saat süreyle kurutulmuştur (Kurt vd., 2012). Örneklerin yağ oranı Kurt vd (2012) tarafından belirtildiği gibi Gerber metoduyla yapılmıştır. Kül tayininde porselen krozeler öncelikle 105°C sıcaklıktaki etüvde 1 saat bekletilmiş, ardından hassas terazide tartılarak daraları alınmıştır. Örneklerinden yaklaşık 5 g tartılmış, 105°C sıcaklıktaki etüvde kurumaya bırakılmıştır. Bu süre sonunda 550°C sıcaklıktaki kül fırınına konulmuştur. Örnekler yakma işleminden sonra sonuçlar tartılarak elde edilmiştir (Kurt vd., 2012).

2.2.4. Kandirif Peyniri Örneklerinde Yapılan Analizler

2.2.4.1. Peynir örneklerinde mikrobiyolojik analizler

Numunelerin hazırlanması

10 g peynir örneği Stomacher torbalarına steril koşullarda tartılarak üzerine 90 mL steril serum fizyolojik (%0,85 NaCl) ilave edilmiştir. Daha sonra örnekler Stomacher'da homojen hale getirilmiştir. Böylece 10^{-1} 'lik dilüsyonlar hazırlanmıştır. Daha sonra diğer dilüsyonlar hazırlanmıştır (Harrigan, 1998).

Toplam aerobik mezofil bakteri (TAMB) sayımı

Toplam aerobik mezofilik bakteri sayımı için Plate Count Agar (PCA) kullanılmıştır. Uygun dilüsyonlardan yayma yöntemiyle ekimi yapılan petripler $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de 48 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda oluşan koloniler sayılmıştır (Messer vd., 1985).

MRS agarda üreyen laktik asit bakteri (laktobasil) sayımı

LAB sayımı için pH'ı 5,7'ye ayarlanmış MRS agar kullanılmıştır Uygun dilüsyonlardan yayma yöntemiyle ekimi yapılan petripler $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de 48 saat anaerobik şartlarda inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda oluşan koloniler sayılmıştır (Speck, 1976).

M-17 agarda üreyen laktik asit bakteri (laktokok) sayımı

Laktokok sayımı için M17 agar kullanılmıştır Uygun dilüsyonlardan yayma yöntemiyle ekimi yapılan petripler $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de 48 saat anaerobik şartlarda inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda oluşan koloniler sayılmış ve hesaplanmıştır (Cabezas vd., 2007).

Koliform grubu bakteri sayımı

Uygun dilüsyonlarından Violet Red Bile Agara 10^{-1} ve 10^{-2} 'lik dilüsyonlardan dökme plak yöntemiyle ekim yapılmıştır (Speck, 1976). Petri kutuları $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de inkübasyondan sonra, etrafında pembe bir hale olan kırmızı renkli koloniler sayılmıştır.

Maya ve küf sayımı

Peynir örneklerinde maya ve küf sayımı için PDA (Potato Dextrose Agar) agar kullanılarak yayma plak yöntemine göre ekim yapılmıştır. Ekim yapılan petripler 25°C 'de 5 gün inkübe edildikten sonra maya ve küf kolonileri sayılmıştır (Speck, 1976).

2.2.4.2. Peynir örneklerinde yapılan fiziksel, kimyasal ve tekstürel analizler

pH değeri birleşik elektrotlu pH-metre kullanılarak belirlenmiştir (Hannon vd., 2003). Titrasyon asitliği % laktik asit cinsinden tespit edilmiştir (Metin, 2013). Kuru madde analizinde, önceden temizlenmiş, kurutulmuş ve darası alınmış kuru madde kaplarına hassas bir şekilde yaklaşık olarak 5'er gram örnek tartılmış ve $100 \pm 5^\circ\text{C}$ 'deki etüvde 3 saat süreyle kurutulduktan sonra tartım yapılmıştır. Örnekler sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. Kurutmadan önceki ağırlık ve kurutmadan sonraki ağırlık farkından % kuru madde miktarı hesaplanmıştır (Kurt vd., 2012). Kandirif peyniri örneklerindeki yağ oranı Gerber metoduyla Van Qulik bütirometresi kullanılarak belirlenmiştir (Kurt vd., 2012). Örneklerin kül miktarlarını belirlemek için; 550°C 'de sabit tartıma getirilip darası alınmış olan porselen krozelere 0,001 g duyarlıkta 1-2 g numune tartılmıştır. Kuruyan örnekler daha sonra 550°C 'de siyah rezidü kalmayana kadar yakma işlemine tabi tutulmuştur. İşlem sonunda krozeler desikatörde soğutulmuş ve % kül oranı belirlenmiştir (Kurt vd., 2012). Tuz analizi Mohr yöntemine göre yapılmıştır (Kurt vd., 2012). Protein tayini Kjeldahl yöntemi ile yapılmıştır. Belirlenen azot miktarı 6.38 faktörü ile çarpılarak peynir örneklerinde % protein miktarı tespit edilmiştir (Kurt vd., 2012). Suda çözünen protein oranı 5 g Kandirif peyniri örneğinin sıcak suda ezilip çıkan süzütünün protein tayinine tabi tutulmasıyla tespit edilmiştir. Suda çözünen proteinin toplam proteine oranından olgunlaşma derecesi hesaplanmıştır (Kurt vd., 2012).

Peynir örneklerinde renk yoğunlukları L^* , a^* ve b^* değeri olarak kolorimetre cihazı (CR-200 Minolta Colorimeter, Osaka, Japan) kullanılarak tespit edilmiştir. Örneklerin L^* (parlaklık), a^* (yeşillik/kırmızı renk) ve b^* değeri mavi-sarı rengi göstermektedir (Voss, 1992).

Peynir örneklerinde delme testi, tekstür analiz cihazı (Stable Micro System, TAXT.plus) ile oda sıcaklığında yürütülmüş ve elde edilen grafikten örneklerin delme kuvveti (N) değerleri hesaplanmıştır (Gutiérrez-Méndez vd., 2011).

Peynir örnekleri 7 kişilik panelist tarafından duyu analize tabi tutulmuştur (Bodyfelt vd., 1988).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Hammadde Analiz Sonuçları

Araştırmada hammadde olarak kullanılan süt ve peyniraltı suyu (PAS) örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal analiz özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Süt ve peyniraltı suyu (PAS) örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları (Table 1. Some physical and chemical analysis results of milk and whey (PAS) samples)

| Örnekler | Kurumadde (%) | Yağ (%) | Protein (%) | Özgül Ağırlık | Kül (%) | pH | Titrasyon Asitliği (SH) |
|----------|---------------|---------|-------------|---------------|---------|------|-------------------------|
| Süt | 12,80 | 3,70 | 3,20 | 1,0281 | 0,75 | 6,76 | 7,55 |
| PAS | 6,95 | 0,75 | 0,90 | - | 0,55 | 4,90 | 35,50 |

3.2. Peynir Örneklerinin Mikrobiyolojik Özellikleri

Peynir örneklerinin mikrobiyolojik özelliklerine ait ortalama değerler ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Peynir örneklerinin mikrobiyolojik özelliklerine ait ortalama değerler ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları (Table 2. Mean values of microbiological properties of cheese samples and Duncan multiple comparison test results)*

| Örnekler | TAMB (log kob/g) | Laktobasil (MRS) (log kob/g) | Laktokok (M17) (log kob/g) | Maya-Küf (log kob/g) | Koliform (log kob/g) |
|----------|------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| K | 7,22±0,06 ^a | 7,98±0,07 ^a | 7,26±0,30 ^a | 5,83±0,66 ^a | 4,99±0,13 ^a |
| M | 4,33±0,04 ^b | 3,76±0,01 ^c | 4,66±0,49 ^b | 4,61±0,01 ^b | <1,00 ^b |
| H | 3,09±0,01 ^c | 4,10±0,14 ^b | 3,06±0,08 ^c | 1,91±0,01 ^d | <1,00 ^b |
| T | 4,15±0,21 ^b | 1,85±0,01 ^d | 4,01±0,01 ^b | 3,80±0,01 ^c | <1,00 ^b |

K: Kızartılmamış kontrol peynir, **M:** Mangalda kızartılmış peynir, **H:** Isıtıcı plakada kızartılmış peynir, **T:** Tavada kızartılmış peynir. **TAMB:** Toplam Aerobik Mezofilik Bakteri Sayısı.

*: Farklı harfler ortalamalarının istatistiki olarak birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

3.2.1. Total Aerobik Mezofilik Bakteri Sayısı (TAMB)

Kızartılmamış ve farklı şekillerde kızartılan Kandirif peyniri örneklerinin TAMB sayısı 3,09 log kob/g ile 7,22 log kob/g arasında değişmiştir. Duncan test sonucunda (Tablo 2) kızartılmamış Kandirif peynirinde en yüksek düzeyde TAMB sayısı belirlenirken, plakada kızartılan Kandirif peynirinde en düşük düzeyde TAMB sayısı bulunmuştur. Peynire uygulanan kızartma işleminin peynirin TAMB sayısını önemli düzeyde ($p<0,05$) azalttığı belirlenmiştir. Sarı vd. (2018) yaptıkları çalışmada, Mengen peyniri örneklerinin TAMB sayısını 8,15±1,14 log kob/g olarak belirlemişlerdir. Şengül vd. (2010), çiğ süt Kaşar peyniri ve pastörize süt Kaşar peynirinin ortalama TAMB sayısını 7,70 log kob/g ve 8,20 log kob/g arasında bulmuşlardır. Bu bulgu, kızartılmamış Kandirif peyniri örnekleri ile paraleldir. Gökçe vd. (2022) yaptıkları çalışmada, pıhtısı haşlanan bir peynir olan Adıyaman peynir örneklerinde TAMB sayısını 7,30 log kob/g ile 9,38 log kob/g arasında bu araştırma bulgularından daha yüksek olarak belirlemişlerdir.

3.2.2. Laktobasil Sayısı

Kızartılmamış ve farklı şekillerde kızartılan Kandirif peyniri örneklerinin Laktobasil sayısı 3,09 log kob/g ile 7,22 log kob/g arasında değişmiştir. Varyans analizi sonucunda peynirin kızartma şekilleri arasındaki farklılık önemli ($p<0,05$) bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma test sonucunda (Tablo 2) kızartılmamış Kandirif peynirinde en yüksek düzeyde Laktobasil sayısı belirlenirken, tavada kızartılan Kandirif peynirinde en düşük sayıda Laktobasil bulunmuştur (Tablo 2). Peynire uygulanan kızartma işleminin peynirin Laktobasil sayısını önemli düzeyde ($p<0,05$) azalttığı belirlenmiştir. Şengül vd. (2010), çiğ ve pastörize sütlerden üretilen Kaşar peynirinin 90 günlük olgunlaşma süresi boyunca bazı mikrobiyolojik özelliklerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, çiğ süt Kaşar peyniri ve pastörize süt Kaşar peynirinin ortalama Laktobasil sayısını 7,36-7,47 log kob/g arasında bulmuşlardır. Bu bulgu, kızartılmamış Kandirif peyniri örneklerinin Laktobasil sayısı ile paralellik arz etmektedir. Sarı vd. (2018) yaptıkları çalışmada, Mengen peyniri örneklerinin ortalama laktik asit bakteri sayısını kızartılmamış örneklere paralel olarak ortalama 7,19±1,42 log kob/g olarak belirlemişlerdir.

3.2.3. Laktokok Sayısı

Kandirif peyniri örneklerinin Laktokok sayısı 3,06 log kob/g ile 7,26 log kob/g arasında değişmiştir. Varyans analizi sonucunda peynirin kızartma şekilleri arasındaki farklılık $p<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma test sonucunda kızartılmamış Kandirif peynirinde en yüksek düzeyde Laktokok sayısı belirlenirken, ısıtıcı plakada kızartılan Kandirif peynirinde en düşük sayıda Laktokok bulunmuştur (Tablo2). Peynire uygulanan kızartılarak pişirme işleminin peynirin Laktokok sayısını önemli düzeyde ($p<0,05$) azalttığı belirlenmiştir. Şengül vd. (2010), çiğ süt Kaşar peyniri ve pastörize süt Kaşar peynirinin ortalama Laktokok sayısını sırasıyla 6,61 log kob/g ve 7,36 log kob/g arasında bulmuşlardır. Bu bulgu kızartılmamış Kandirif peyniri Laktokok sayısı ile paralellik arz etmektedir. Gökçe vd. (2022) yaptıkları çalışmada, pıhtısı haşlanan bir peynir olan Adıyaman peynir örneklerinde Laktokok sayısını 7,08 log kob/g ve 9,38 log kob/g arasında belirlenmiştir. Adıyaman peynir örneklerinin en düşük Laktokok sayısı bu çalışmada yapılan kızartılmamış Kandirif peyniri örneklerinin Laktokok sayısı ile paralellik arz etmektedir.

3.2.4. Maya ve Küf Sayısı

Bilhassa peynir örneklerinde bulunan küfler hava vasıtasıyla peynire kontamine olmaktadır. Yapılan varyans analizi sonucunda peynirin kızartma şekilleri arasındaki farklılık önemli ($p<0,05$) bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma test sonucunda kızartılmamış Kandirif peynirinde en yüksek düzeyde maya ve küf sayısı belirlenirken, ısıtıcı plakada kızartılan Kandirif peynirinde en düşük sayıda bulunmuştur (Tablo 2). Peynire uygulanan kızartılarak pişirme işleminin peynirin maya ve küf sayısını önemli düzeyde ($p<0,05$) azalttığı belirlenmiştir. Gökçe vd. (2022) yaptıkları çalışmada, pıhtısı haşlanan bir peynir olan Adıyaman peynir örneklerinde maya ve küf sayısını 6,30 log kob/g ile 8,18 log kob/g arasında belirlemişler ve bu sonuçlar bu araştırma bulgularından daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Sarı vd. (2018) yaptıkları çalışmada, Mengen peyniri örneklerinin ortalama maya-küf sayısını 4,97±1,15 log kob/g olarak bulmuş ve bu bulgu bu çalışmada kızartılmamış Kandirif peynirinde tespit edilen sayıdan daha düşüktür. Gün ve Şimşek (2011) Türkiye’de üretilen Hellim peynir örneklerinin maya küf sayısı <2,00 log kob/g ile 5,02 log kob/g arasında bulmuşlardır. Gün ve Şimşek (2011)’in Hellim peyniri örneklerinde tespit ettikleri en yüksek maya ve küf sayıları bu çalışmada kızartılmamış Kandirif peynir örneklerinde tespit edilen sayıdan daha düşüktür.

3.2.5. Koliform Grubu Bakteri Sayısı

Kandırif peyniri örneklerinin en düşük koliform sayısı (<1,00 log kob/g) kızartılan Kandırif peyniri örneklerinde ve en yüksek değer ise (4,99 log kob/g) kızartılmamış örneklerde tespit edilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma test sonucunda kızartılmamış Kandırif peynirinde en yüksek düzeyde koliform grubu bakteri sayısı belirlenirken, tüm kızartılan Kandırif peynirinde en düşük sayıda bulunmuştur (Tablo 2). Kandırif peynirinin farklı metotlarla kızartılması sırasında Kandırif peynirinde koliform grubu bakteri sayısının <1,00 log kob/g'a düştüğü ve sağlık açısından güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Gün ve Şimşek (2011) Türkiye'de üretilen Hellim peynir örneklerinin koliform grubu bakteri sayısını <1,00 log kob/g ile 4,78 log kob/g arasında bulmuşlardır. Bu çalışmada elde edilen en yüksek koliform sayısı (4,78 log kob/g) bu çalışmada kızartılmamış Kandırif peynir örneklerinde tespit edilen sayı ile paralellik arz etmektedir. Atasever vd. (1999) yaptıkları Hellim peyniri örneklerinde muhafazanın 1. gününde koliform grubu bakteri sayısını 4,25 log kob/g ile 4,35 log kob/g arasında bulmuşlardır. Atasever vd. (1999)'nin bulguları bu çalışmada kızartılmamış Kandırif peynir örneklerinde tespit edilen sayı ile benzerlik göstermektedir. Başkaya vd. (2006) yaptıkları çalışmada, Erzurum yöresinden temin edilen 50 adet civil peynir örneğini mikrobiyolojik kalitenin belirlenmesi amacıyla incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre civil peyniri numunelerinde belirlenen koliform grubu bakteri sayısı ortalama $3,05 \times 10^4$ kob/g olarak belirlenmiştir. Civil peynirle hemen hemen aynı şartlarda yapılan kızartılmamış Kandırif peyniri örneklerindeki koliform grubu bakteri sayısı bu araştırma bulguları ile paralellik arz etmektedir.

3.3. Peynir Örneklerinin Fizikokimyasal Özellikleri

Peynir örneklerinin fizikokimyasal özelliklerine ait Duncan test sonuçları da Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Peynir örneklerinin bazı fizikokimyasal özelliklerine ait ortalama değerler ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları (Table 3. Mean values of some physicochemical properties of cheese samples and Duncan multiple comparison test results)*

| Örnekler | Kurumadde (%) | Yağ (%) | Protein (%) | SÇP (%) |
|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| K | 52,25±1,46 ^c | 23,00±0,00 ^b | 22,55±1,04 ^a | 1,65±0,08 ^{abc} |
| M | 59,77±0,39 ^a | 26,75±0,35 ^a | 20,28±1,10 ^b | 1,41±0,01 ^c |
| H | 54,75±0,10 ^b | 27,00±0,71 ^a | 18,95±0,64 ^b | 1,94±0,26 ^a |
| T | 54,73±0,89 ^b | 26,50±0,71 ^a | 19,82±0,17 ^b | 1,82±0,06 ^{ab} |

K: Kızartılmamış kontrol peynir, **M:** Mangalda kızartılmış peynir, **H:** Isıtıcı plakada kızartılmış peynir, **T:** Tavada kızartılmış peynir. *: Farklı harfler ortalamalarının istatistiki olarak birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

3.3.1. Peynir Örneklerinin Kurumadde Analiz Sonuçları

Kandırif peynir örneklerinin kurumadde oranları arasındaki farklılık $p < 0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma test sonucundan kızartılmamış Kandırif peyniri örneğinin kuru madde oranı kızartılmış örneklerden daha düşük bulunmuştur (Tablo 3). Bu durum peynir örneğinin mangalda kızartılması esnasında daha fazla su kaybına maruz kaldığını göstermiştir. Özdemir vd. (2022) yaptıkları çalışmada, Erzurum ili Olur ilçesinin Kekikli köyünden 20 adet Kandırif peynir örneği almış ve peynir örneklerinin ortalama kuru madde oranı %72,22 olarak belirlemişlerdir. Özdemir vd. (2022)'nin bulguları bu araştırma bulgularından oldukça yüksektir. Sarı vd. (2018) Mengen peyniri örneklerinin kuru madde oranını ortalama %514,±5,34 olarak belirlemişlerdir. Bu bulgu bu çalışmada belirlenen kızartılmamış Kandırif peyniri örnekleri ile paralellik göstermektedir. Gün ve Şimşek (2011)'in Hellim peyniri örneklerinde belirledikleri ortalama kurumadde oranı (%53,27) bu çalışmada kızartılmamış Kandırif peyniri örnekleri (%52,25) ile paralellik göstermektedir. İncili vd. (2019) Elazığ ilinde satılan 30 Hellim peyniri örneklerinde ortalama olarak kuru madde oranını ortalama %48,77 olarak bulmuşlardır. Bu bulgu bu araştırma sonuçlarından daha düşüktür. TS 12513 "Hellim Peyniri" (Anonim, 2018) standardına göre Hellim peynirinde su içeriğinin en çok %50 olması hükmü yer almaktadır. Kandırif peyniri örnekleri bu standarda uygunluk göstermektedir.

3.3.2. Peynir Örneklerinin Yağ Analiz Sonuçları

Kandırif peynir örneklerinin yağ oranları arasındaki farklılık $p < 0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma test sonucundan (Tablo 3) kızartılmış Kandırif peynir örneklerinin yağ oranı kızartılmamış örneklerden önemli düzeyde daha yüksek bulunmuştur. Özdemir vd. (2022) topladıkları Kandırif peynir örneklerinin ortalama yağ oranı %31,24 olarak belirlemişlerdir. Özdemir vd. (2022)'nin bulguları bu araştırma bulgularından oldukça yüksektir. Sarı vd. (2018) Mengen peyniri örneklerinin yağ oranını ortalama %19,05±4,99 olarak belirlemişlerdir. Bu bulgu, bu çalışmada kızartılmamış Kandırif peyniri örneklerinden daha düşüktür. Atasever vd. (1999) yaptıkları Hellim peyniri örneklerinde muhafazanın 1. gününde yağ oranını %26,17 ile %26,39 arasında bulmuşlardır. Bu bulgu, kızartılmamış Kandırif peyniri örneklerinden daha yüksekken, kızartılmış örneklerle benzerlik göstermektedir. Peynirin yağ oranı kullanılan sütün yağ oranı ve peynir üretim tekniğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

3.3.3. Peynir Örneklerinin Kurumadde'de Yağ Oranı Analiz Sonuçları

Kandırif peynir örneklerinin % kurumadde'de yağ oranları arasındaki farklılık $p < 0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma test sonucundan (Tablo 3) ısıtıcı plaka ve tavada kızartılmış Kandırif peynir örneklerinin KM'de yağ oranı kızartılmamış ve mangalda kızartılan örneklerden önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. Özdemir vd. (2022) topladıkları Kandırif peynir

örneklerinin ortalama KM'de yağ oranı %42,15 olarak belirlemişlerdir. Özdemir vd. (2022)'nin bulguları bu araştırma bulgularından daha düşüktür. Gökçe vd. (2022) yaptıkları çalışmada, pıhtısı haşlanan bir peynir olan Adıyaman peynir örneklerinde KM'de yağ oranını %25,02-41,90 aralığında belirlemişlerdir. Bu bulgu, bu çalışmada Kandirif peynir örneklerinde belirlenen KM'de yağ oranlarından daha düşüktür.

3.3.4. Peynir Örneklerinin Protein Analiz Sonuçları

Kandirif peynir örneklerinin protein oranları arasındaki farklılık $p < 0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma test sonucunda (Tablo 3) kızartılmamış Kandirif peyniri örneklerinin protein oranı kızartılmış örneklerden önemli düzeyde daha yüksek bulunmuştur. Özdemir vd. (2022) yaptıkları çalışmada, Erzurum ili Olur ilçesinin Kekikli köyünden 20 adet Kandirif peynir örneği almış ve ortalama protein oranını %35,14 olarak belirlemiştir. Sıçramaz vd. (2017) tütülenmiş Çerkez peynir örneklerinde protein miktarı nem kaybıyla orantılı olarak arttığından tütülenmiş peynirlerin toplam azot içeriği tütülenmemiş peynirlere göre daha yüksek bulunmuştur. Bu bulgu bu araştırma sonuçları ile paralellik arz etmemektedir. Peynir örneklerinin tamamı vakumlu polietilen ambalajlarda saklandığı için depolama sırasında DM, yağ ve toplam nitrojen içeriklerinde önemli bir değişiklik gözlenmiştir. Özdemir vd. (2022)'nin bulguları bu araştırma bulgularından oldukça yüksektir. Sarı vd. (2018) yaptıkları çalışmada, Mengen peyniri örneklerinin protein oranını %24±3,29 olarak belirlemişlerdir. Bu bulgu bu araştırma sonuçlarından daha yüksektir. Gün ve Şimşek (2011) Hellim peyniri örneklerinin ortalama protein oranını %19,20 olarak bulmuşlardır. Bu bulgu araştırma sonuçlarımızla paralellik arz etmektedir. İncili vd. (2019) yaptıkları çalışmada, Elazığ ilinde satılan 30 Hellim peyniri örneklerinde ortalama olarak protein oranını %30,33 olarak, bu araştırma sonuçlarından daha yüksek bulmuşlardır.

3.3.5. Peynir Örneklerinin Suda Çözünen Protein (SÇP) Analiz Sonuçları

Kandirif peynir örneklerinin SÇP oranları arasındaki farklılık $p < 0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma test sonucunda (Tablo 3) mangalda kızartılan Kandirif peyniri örneklerinin SÇP oranı diğer örneklerden önemli düzeyde daha yüksek bulunmuştur. Özdemir vd. (2022) yaptıkları çalışmada, Erzurum ili Olur ilçesinin Kekikli köyünden 20 adet Kandirif peynir örneği almış ve ortalama SÇP oranını %3,83 olarak belirlemiştir. Özdemir vd. (2022)'nin bulguları, bu araştırma bulgularından oldukça yüksektir. Bu durum Özdemir vd. (2022) tarafından toplanan Kandirif peyniri örneklerinin daha uzun süre muhafaza edilmiş olmasından kaynaklanabilir. Gün ve Şimşek (2011) Hellim peyniri örneklerinde suda çözünen azot oranını %0,14 olarak bulmuşlardır. Bu bulgu araştırma sonuçlarımızdan daha düşüktür.

Tablo 3 (devam/ continued). Peynir örneklerinin bazı fizikokimyasal özelliklerine ait ortalama değerler ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları (Table 3. Mean values of some physicochemical properties of cheese samples and Duncan multiple comparison test results)*

| Örnekler | Kül (%) | Tuz (%) | KM'de yağ (%) | KM'de tuz (%) | Olgunlaşma derecesi (%) |
|----------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| K | 4,74±0,07 ^d | 4,32±0,05 ^c | 44,19±0,30 ^b | 8,27±0,08 ^c | 7,32±0,05 ^b |
| M | 5,43±0,13 ^b | 5,32±0,08 ^a | 44,75±0,65 ^b | 8,90±0,10 ^b | 6,95±0,03 ^b |
| H | 5,55±0,08 ^b | 4,95±0,29 ^b | 49,32±0,75 ^a | 9,04±0,16 ^b | 10,24±0,25 ^a |
| T | 5,91±0,25 ^a | 5,57±0,13 ^a | 48,42±0,43 ^a | 10,18±0,15 ^a | 9,18±0,18 ^a |

K: Kızartılmamış kontrol peynir, **M:** Mangalda kızartılmış peynir, **H:** Isıtıcı plakada kızartılmış peynir, **T:** Tavada kızartılmış peynir.
*: Farklı harfler ortalamalarının istatistikî olarak birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

3.3.6. Olgunlaşma Derecesi

Kandirif peynir örneklerinin olgunlaşma dereceleri arasındaki farklılık $p < 0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma test sonucunda (Tablo 3) ısıtıcı plakada ve tavada kızartılan Kandirif peyniri örneklerinin olgunlaşma derecesi kızartılmamış ve mangalda kızartılan örneklerden önemli düzeyde daha yüksek bulunmuştur. Özdemir vd. (2022)'nin bulguları bu çalışmada kızartılmamış örneklerdeki bulgulardan daha yüksektir. Sarı vd. (2018) yaptıkları çalışmada, Mengen peyniri örneklerinin olgunlaşma indeksini %2,94±1,25 olarak belirlemişlerdir. Bu bulgu, bu araştırma sonuçlarından oldukça düşük bulunmuştur. Gün ve Şimşek (2011) Hellim peyniri örneklerinin ortalama olgunlaşma derecesini % 4,63 olarak bulmuşlardır. Bu bulgu, bu araştırma sonuçlarından oldukça düşüktür.

3.3.7. Peynir Örneklerinin Kül Analiz Sonuçları

Kandirif peynir örneklerinde kül oranı %4,74 ile %5,91 arasında değişmiş ve kül oranları arasındaki farklılık $p < 0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma test sonucundan (Tablo 3) kızartılmış Kandirif peynir örneklerinin kül oranı kızartılmamış örneklerden önemli düzeyde daha yüksek bulunmuştur. Özdemir vd. (2022) topladıkları Kandirif peynir örneklerinin ortalama kül oranını %3,43 olarak belirlemişlerdir. Özdemir vd. (2022)'nin bulguları bu araştırma bulgularından oldukça düşüktür. Sarı vd. (2018) Mengen peyniri örneklerinin kül oranını ortalama %3,43 olarak belirlemişlerdir. Bu bulgu, bu çalışmada yapılan Kandirif peyniri örneklerinden daha düşüktür. Atasever vd. (1999) yaptıkları Hellim peyniri örneklerinde muhafazanın 1. gününde kül oranını %3,84 ile %5,42 arasında bulmuşlardır. Bu bulgu, kızartılmamış Kandirif peyniri örnekleri ile benzerlik göstermektedir.

3.3.8. Peynir Örneklerinin Tuz Analiz Sonuçları

Kandirif peynir örneklerinde tuz oranı %4,32 ile %5,57 arasında değişmiş ve tuz oranları arasındaki farklılık $p < 0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma test sonucundan (Tablo 2) kızartılmış Kandirif peynir örneklerinin tuz oranı kızartılmamış örneklerden önemli düzeyde ($p < 0,05$) daha yüksek bulunmuştur. Özdemir vd. (2022) topladıkları Kandirif peyniri

örneklerinin ortalama tuz oranını %2,67 olarak belirlemişlerdir. Özdemir vd. (2022)'nin bulguları bu araştırma bulgularından oldukça düşüktür. Sarı vd. (2018) Mengen peyniri örneklerinin tuz oranını ortalama %2,19 olarak belirlemişlerdir. Bu bulgu, bu çalışmada yapılan Kandirif peyniri örneklerinden daha düşüktür. Gün ve Şimşek (2011) Türkiye’de üretilen Hellim peynir örneklerinin tuz oranını %4,70 olarak belirlemişler ve bu oran bu araştırma bulguları ile paralellik arz etmektedir. Atasever vd. (1999) yaptıkları Hellim peyniri örneklerinde muhafazanın 1. gününde tuz oranını %2,32 ile %4,25 arasında bulmuşlardır. En yüksek değer, Kandirif peyniri örnekleri ile benzerlik göstermektedir.

3.3.9. Peynir Örneklerinin Kurumadde’de Tuz Analiz Sonuçları

Kandirif peynir örneklerinin KM’de tuz oranı %8,27 ile % 10,18 arasında değişmiş ve tuz oranları arasındaki farklılık $p<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma test sonucundan (Tablo 3) kısırtılmış Kandirif peynir örneklerinin tuz oranı kısırtılmamış örneklerden önemli düzeyde ($p<0,05$) yüksek bulunmuştur. Özdemir vd. (2022) topladıkları Kandirif peynir örneklerinin ortalama KM’de tuz oranını %3,70 olarak belirlemişlerdir. Özdemir vd. (2022)'nin bulguları bu araştırma bulgularından oldukça düşüktür. Gün ve Şimşek (2011) Türkiye’de üretilen Hellim peynir örneklerinin KM’de tuz oranını ortalama %8,70 olarak belirlemişler ve bu oran bu çalışmada kısırtılmamış Kandirif peyniri örnekleri ile paralellik arz etmektedir. TS 12513 “Hellim Peyniri” (Anonim, 2018) standardına göre Hellim peynirinde KM’de tuz oranının en çok %12 olması hükmü yer almaktadır. Farklı şekillerde kısırtılan Kandirif peynir örneklerinin tümü bu standarda uygundur.

3.3.10. Titrasyon Asitliği Analiz Sonuçları

Farklı metotlarla kısırtılan Kandirif peynir örneklerinin asitlik dereceleri arasındaki farklılık önemsiz ($p>0,05$) bulunmuştur. Özdemir vd. (2022) yaptıkları çalışmada, Erzurum ili Olur ilçesinin Kekikli köyünden 20 adet Kandirif peynir örneği almış ve ortalama asitliği 37,80 SH olarak belirlemişlerdir. Özdemir vd. (2022)'nin bulguları bu araştırma bulgularından daha düşüktür. Sarı vd. (2018) yaptıkları çalışmada, Mengen peyniri örneklerinde buldukları ortalama asitlik oranı ($\%0,36\pm0,21$) bu araştırma bulgularından oldukça düşüktür. Bu durum Kandirif peyniri yapılan sütün ekşitilmesinden, Mengen peynirinin ise taze süttten yapılmasından kaynaklanmaktadır. Gün ve Şimşek (2011) Türkiye’de üretilen Hellim peynir örneklerinin asitlik derecesini %1,76 olarak bulmuşlar ve bu bulgu bu araştırma sonuçları ile paraleldir. İncili vd. (2019) yaptıkları çalışmada, Elazığ ilinde satılan 30 Hellim peyniri örneklerinde ortalama asitlik derecesini %0,15 olarak tespit etmişlerdir. Bu bulgu, bizim bulgularımızdan oldukça düşüktür.

3.3.11. pH Değeri Analiz Sonuçları

Farklı metotlarla kısırtılan Kandirif peynir örneklerinin pH dereceleri arasındaki farklılık önemli ($p<0,05$) bulunmuştur. Özdemir vd. (2022) yaptıkları çalışmada, Erzurum ili Olur ilçesinin Kekikli köyünden 20 adet Kandirif peynir örneği almış ve ortalama pH derecesini 5,47 olarak belirlenmiştir. Özdemir vd. (2022)'in bulguları bu araştırma bulgularından daha yüksektir. Sarı vd. (2018) yaptıkları çalışmada, Mengen peyniri örneklerinde buldukları ortalama pH derecesi ($5,72\pm0,44$) bu araştırma bulgularından oldukça yüksektir. Bu durum, Kandirif peyniri yapılan sütün ekşitilmesinden, Mengen peynirinin ise taze süttten yapılmasından kaynaklanmaktadır. Gün ve Şimşek (2011) Türkiye’de üretilen Hellim peynir örneklerinin pH değerini 5,79 bulmuşlar ve bu bulgu, bu araştırma sonuçlarından oldukça yüksektir. Arslaner ve Salık (2020) Bayburt piyasasından temin ettikleri 20 adet Civil peynir örneğinde pH değerini ortalama 5,36 olarak bulmuşlar, bu bulgu bu araştırma sonuçları ile paralellik arz etmektedir. Bu durum Kandirif ve Civil peynirin ekşitilmiş süttten yapılması ile izah edilebilir.

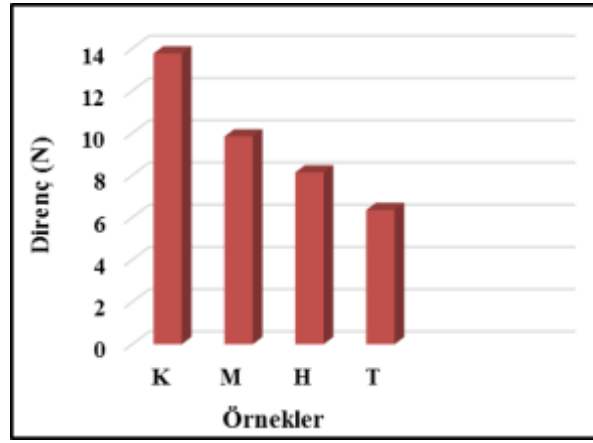
Tablo 3 (devam/continued). Peynir örneklerinin bazı fizikokimyasal özelliklerine ait ortalama değerler ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları (Table 3. Mean values of some physicochemical properties of cheese samples and Duncan multiple comparison test results)*

| Örnekler | Titrasyon Asitliği (%LA) | pH | Delme Kuvveti (N) |
|----------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| K | 1,51±0,52 ^a | 4,73±0,13 ^b | 13,77±0,16 ^a |
| M | 1,42±0,25 ^a | 4,71±0,01 ^b | 9,83±0,06 ^b |
| H | 1,77±0,13 ^a | 4,80±0,01 ^a | 8,14±0,15 ^c |
| T | 1,52±0,58 ^a | 4,66±0,01 ^c | 6,36±0,88 ^d |

K: Kısırtılmamış kontrol peynir, **M:** Mangalda kısırtılmış peynir, **H:** Isıtıcı plakada kısırtılmış peynir, **T:** Tavada kısırtılmış peynir. *: Farklı harfler ortalamalarının istatistiki olarak birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

3.3.12. Kandirif Peynir Örneklerinde Delme Kuvveti Analiz Sonuçları

Farklı metotlarla kısırtılan Kandirif peynir örneklerinin tekstür (delme kuvveti) özellikleri arasındaki farklılık önemli ($p<0,05$) bulunmuştur (Tablo 3). Duncan çoklu karşılaştırma test sonucunda farklı şekillerde kısırtılan Kandirif peynir örneklerinin delmeye karşı gösterdikleri direnç arasındaki farklılık $p<0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Kısırtılmamış peynir örneğinin delmeye karşı direnci en yüksek düzeyde bulunurken, tavada kısırtılan örnekler en fazla düzeyde yumuşayarak delmeye karşı en az direnci göstermiştir. Kısırtılmamış ve farklı şekillerde kısırtılan Kandirif peyniri örneklerinin delme işlemine karşı direncinin (N) değişimi Şekil 3’de görülebilmektedir.



Şekil 3. Kandirif peyniri örneklerinin delme işlemine karşı direnci (**Figure 3.** Resistance of Kandirif cheese samples to penetrating)
K: Kızartılmamış kontrol peynir, M: Mangalda kızartılmış peynir, H: Isıtıcı plakada kızartılmış peynir, T: Tavada kızartılmış peynir

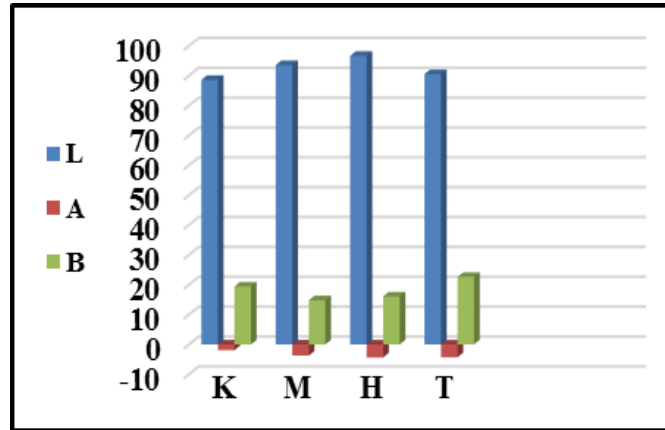
3.4. Peynir Örneklerinin Renk Özellikleri

Peynir örneklerinin renk özelliklerine ait Duncan test sonuçları da Tablo 4'te verilmiştir. Kızartılmamış ve farklı şekillerde kızartılan Kandirif peyniri örneklerinde renk değişimi Şekil 4'de görülebilmektedir.

Tablo 4. Peynir örneklerinin renk özelliklerine ait ortalama değerler ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları (**Table 4.** Mean values of color characteristics of cheese samples and Duncan multiple comparison test results)*

| Örnekler | L^* | a^* | b^* |
|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| K | 88,57±0,74 ^d | -1,93±0,04 ^a | 19,38±0,42 ^b |
| M | 93,53±0,01 ^b | -3,72±0,10 ^b | 14,80±0,06 ^d |
| H | 96,65±0,19 ^a | -4,35±0,02 ^c | 16,06±0,11 ^c |
| T | 90,49±0,35 ^c | -4,25±0,15 ^c | 22,63±0,37 ^a |

K: Kızartılmamış kontrol peynir, M: Mangalda kızartılmış peynir, H: Isıtıcı plakada kızartılmış peynir, T: Tavada kızartılmış peynir. *: Farklı harfler ortalamalarının istatistiki olarak birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Peynir örneklerinin renk özellikleri (**Figure 4.** Color characteristics of cheese samples)

K: Kızartılmamış kontrol peynir, M: Mangalda kızartılmış peynir, H: Isıtıcı plakada kızartılmış peynir, T: Tavada kızartılmış peynir

3.4.1. L^* Değeri

L^* renk değeri örneklerin parlaklık derecesinin göstergesidir. Farklı metotlarla kızartılan Kandirif peynir örneklerinin L^* renk özellikleri arasındaki farklılık önemli ($p < 0,05$) bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma test sonucunda (Tablo 4) kızartılmamış peynir örneğinin L^* renk değeri kızartılmış örneklerden önemli düzeyde ($p < 0,05$) düşük bulunmuştur. Özdemir vd. (2022) Kandirif peyniri örneklerinde L^* renk değeri 60,47 ile 80,76 arasında değişmiş ortalama 73,84 olarak tespit etmişlerdir. Bu sonuçlar bu araştırma bulgularından oldukça düşüktür. Gökçe vd. (2022) yaptıkları çalışmada, pıhtısı haşlanan bir peynir olan Adıyaman peynir örneklerinde L^* renk değerini 85,93 ile 92,86 aralığında değişkenlik gösterdiğini belirlemişlerdir. Bu bulgu kızartılmamış Kandirif peynir örneklerinin L^* renk değeri ortalamaları ile paralellik arz etmektedir. Ataserver vd. (1999) yaptıkları Hellim peyniri örneklerinde muhafazanın 1. gününde L^* renk değerini 90,91 ile 92,04 arasında bulmuş, bu bulgular bu araştırma sonuçları ile paraleldir. Erbay vd. (2010) yaptıkları çalışmada, farklı firmalar tarafından satışa sunulan Hellim peynirleri üzerinde çalışma yapmışlar renk üzerinde özellikle yağ içeriğinin belirleyici öneme sahip olduğunu belirlemişlerdir.

3.4.2. a^* Değeri

Farklı metotlarla kızartılan Kandırif peynir örneklerinin a^* renk değerleri arasındaki farklılık önemli ($p<0,05$) bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma test sonucunda (Tablo 4) kızartılmamış peynir örneğinin a^* renk değeri, kızartılmış örneklerden önemli düzeyde ($p<0,05$) yüksek bulunmuştur. Gökçe vd. (2022) yaptıkları çalışmada, pıhtısı haşlanan bir peynir olan Adıyaman peynir örneklerinde a^* renk değerini -0.92 ve -4.04 aralığında değişkenlik gösterdiğini belirlemişlerdir. Bu bulgu kızartılmamış Kandırif peynir örneklerinin a^* renk değeri ortalamalarından daha yüksektir.

3.4.3. b^* Değeri

Farklı metotlarla kızartılan Kandırif peynir örneklerinin b^* renk değerleri arasındaki farklılık önemli ($p<0,05$) bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma test sonucunda (Tablo 4) tavada kızartılan peynir örneğinin b^* renk değeri, diğer örneklerden önemli düzeyde ($p<0,05$) yüksek bulunmuştur. Gökçe vd. (2022) yaptıkları çalışmada, pıhtısı haşlanan bir peynir olan Adıyaman peynir örneklerinde b^* renk değerini 4,52-32,89 aralığında değişkenlik gösterdiğini belirlemişlerdir. Bu bulgu, Kandırif peynir örneklerinin b^* renk değeri ortalamalarından farklılık göstermektedir.

3.5. Peynir Örneklerinin Duyusal Özellikleri

Peynir örneklerinin duyusal özelliklerine ait ortalama değerler ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

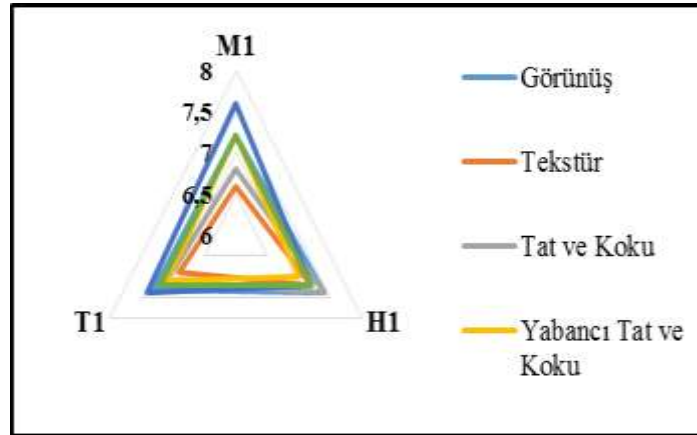
Tablo 5. Peynir örneklerinin duyusal özelliklerine ait ortalama değerler ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları (Table 5. Mean values of sensory properties of cheese samples and Duncan multiple comparison test results)*

| Örnekler | Görünüş | Tekstür | Tat ve Koku | Yabancı Tat ve Koku | Genel Kabul Edilebilirlik |
|----------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
| M | 8,00±1,05 ^a | 7,50±1,18 ^a | 8,10±0,57 ^a | 8,00±1,05 ^a | 8,20±0,79 ^a |
| H | 7,30±1,50 ^a | 6,90±1,66 ^a | 7,10±1,37 ^b | 7,10±1,20 ^a | 7,20±1,14 ^b |
| T | 7,63±1,13 ^a | 7,10±0,88 ^a | 7,40±0,70 ^{ab} | 7,80±0,63 ^a | 7,90±0,74 ^{ab} |

K: Kızartılmamış kontrol peynir, **M:** Mangalda kızartılmış peynir, **H:** Isıtıcı plakada kızartılmış peynir, **T:** Tavada kızartılmış peynir.

*: Farklı harfler ortalamaların istatistiki olarak birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Duncan test sonucunda mangalda kızartılan Kandırif peynir örneklerinin ısıtıcı plakada ve tavada kızartılan örneklerden panelistlerce daha çok beğenildiği tespit edilmiştir. Bu durum mangaldaki yanmış kömürün peynir üzerindeki tütsüleyici etkisinden kaynaklanabilir.



Şekil 5. Peynir örneklerinin duyusal özellikleri (Figure 5. Sensory characteristics of cheese samples)

4. Sonuç

Mahalli olarak üretilen Kandırif peyniri kontrollü şartlarda yapılarak 3 farklı şekilde kızartılmış ve bazı fiziksel, kimyasal, tekstürel ve duyusal analizlere tabi tutulmuştur. Bu analizler sonucunda aşağıda belirtilen öneriler yapılabilir. Kandırif peyniri fabrika şartlarında kolayca yapılabilir. Bu araştırma, kapsamında Kandırif peynirinin yapım şartları her safhasıyla belirlenmiştir. Kandırif peynirinin 3 farklı şekilde kızartılması metodu da uygulanarak tüketim şekilleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Kızartılmamış Kandırif peynirinde en yüksek düzeyde koliform grubu bakteri sayısı belirlenirken, farklı metotlarla kızartılması sırasında Kandırif peynirinde koliform grubu bakteri sayısının $<1,00 \log \text{ kob/g}$ 'a düştüğü ve sağlık açısından güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır. Kızartılmamış peynir örneklerinin kurumadde, yağ, kül ve tuz oranı kızartılmış peynir örneklerinden daha düşük bulunurken, protein, tuz ve KM'de tuz oranları daha yüksek bulunmuştur. Kızartılmamış örnekler delmeye karşı en yüksek direnci gösterirken, tavada kızartılan örneklerin delme işlemine gösterdiği direnç en düşük düzeyde kalmıştır. Bu durumda Kandırif peyniri kızartılınca yumuşadığı ve daha kolay tüketilebilecek hale geldiği söylenebilir. Kızartılmamış kandırif peynirinin sert olduğu ve bu haliyle tekstür açısından tüketime uygun olmadığı sonucuna varılabilir. Mangalda kızartılan Kandırif peynir örneklerinin ısıtıcı plakada ve tavada kızartılan örneklerden panelistlerce daha çok beğenildiği tespit edilmiştir. Bu durum mangaldaki yanmış kömürün peynir üzerindeki tütsüleyici etkisinden kaynaklanabilir.

Kaynakça

- Anonim, (2018).Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Türk Standartları Enstitüsü, Hellim Peyniri, TS: 12513, Ankara.
- Anonim, (2021) Ulusal Süt Konseyi: Dünya ve Türkiye'de Süt Sektör İstatistikleri, 2019 Süt Raporu.
- Arslaner, A. & Salık, M. A. (2020). Bayburt civil peynirinin bazı kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri ile mineral ve ağır metal içerikleri. *Gıda*, 45(3), 433-447.
- Atasever, M., Keleş, A., Uçar, G. & Güner, A. (1999). Farklı ambalajlarda muhafaza edilen hellim peynirinin olgunlaşması süresince bazı kalite niteliklerindeki değişimler. *Veteriner Bilimleri Dergisi*, 15, 1, 55-64.
- Başkaya, R., Atasever, M., Çakmak, Ö. & Yıldız, A. (2006). Civil peynirinin mikrobiyolojik nitelikleri. *İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 32(2), 87-94.
- Bodyfelt F.W., Tobias J. & Trout G.M. (1988). The Sensory Evaluation of Dairy Products. New York, AVI Book, 166-226.
- Cabezas, L., Sanchez, I., Poveda, J.M., Sesena, S. & Palop, M.L. (2007). Comparison of microflora, chemical and sensory characteristics of artisanal Manchego cheeses from two dairies. *Food Control*, 18, 11-17.
- Erbay, Z., Koca, N. & Üçüncü, M. (2010). Hellim peynirinin bileşimi ile renk ve dokusal özellikleri arasındaki ilişkiler. *Gıda*, 35(5), 347-353.
- Gökçe, Ö., Bayana, D., Küçükçetin, A. & Gürsoy, O. (2022). Geleneksel yöntem ile üretilen adıyaman peynirinin bazı fizikokimyasal, tekstürel ve mikrobiyolojik özellikleri. *Akademik Gıda*, 20(4), 374-385.
- Gutiérrez-Méndez, N., Trancoso-Reyes, N. & Leal-Ramos, M.Y. (2013). Texture profile analysis of fresh cheese and Chihuahua cheese using miniature cheese models. *Tecnociencia*, 7, 65-74.
- Harrigan, W. F. (1998). Laboratory methods in food microbiology. Gulf professional publishing.
- Gün, İ. & Şimşek, B. (2011) Türkiye'de ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde üretilen hellim peynirlerinin bazı Özelliklerinin karşılaştırılması. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(1), 43-53.
- İncili, G.K., Selçuk, A.L. A.N., Mutlu, M., Aydemir, M. E. & Öksüztepe, G. (2019). Elazığ'da satılan hellim peynirlerinin mikrobiyolojik ve kimyasal kalitesi. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 8(2), 139-146.
- Kurt, A., Çakmakçı, S. & Çağlar A. (2012). Süt ve Mamülleri Muayene ve Analiz Metotları Rehberi. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yay. No. 18, 238 s., Erzurum.
- Messer, J.W., Behney H.M. & Leudecke L.O. (1985). Microbiological Count Methods. In: Richardson, G. H. (Ed). Standard Methods for the Examination of Dairy Products (APHA). 15th Edition, 133-149, Washington D.C.
- Özdemir, C., Karaoğlu, M.M., Fatih, Ö., Özdemir, S. & Tajer, A. (2022). Geleneksel olarak aile işletmelerinde üretilen kandırif peynirinin yapılışı ile bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 573-578.
- Sarı, K., Yaman, H., Coşkun, H. & Akoğlu, A. (2018). Geleneksel mengen peynirinin mikrobiyal kalitesi, uçucu bileşen profili, tekstürel ve bazı kimyasal özellikleri. *Gıda*, 43 (2), 185-196.
- Sıçramaz, H., Ayar, A. & Öztürk, M. (2017). The effect of smoking on the formation of biogenic amines in Circassian cheese. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 12, 139-146.
- Speck, N.L. (1976). Compendium of Methods for the Examination of Foods. Apha., Washington, D.C., USA.
- Şengül, M., Erkaya, T. & Fırat, N. (2010). Çiğ ve pastörize süten üretilen kaşar peynirlerinin olgunlaşma süresince bazı mikrobiyolojik özelliklerinin karşılaştırılması. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(2), 149-156.
- Voss, D.H. (1992). Relating colorimeter measurement of plant color to the royal horticultural society colour chart. *Hortscience*, 27(12),1256-1260.



Biyomimetik Mimarlıkta Ekomimikri ve Orman Kurma Metaforu

İdris Oğurlu¹, Betül Uç^{2*}

¹ İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi / Çevre ve Doğa Bilimleri Uygulama Araştırma Merkezi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2677-9513), iogurlu@ticaret.edu.tr

^{2*} İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7300-4841), buc@ticaret.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 17 Mayıs 2023 ve Kabul Tarihi 24 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10623642)

ATIF/REFERENCE: Oğurlu, İ. & Uç, B. (2024). Biyomimetik Mimarlıkta Ekomimikri ve Orman Kurma Metaforu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (53), 43-57.

Öz

Mimarlık, tasarımda yararlanmak üzere doğal objelere yönelirken, analojik yaklaşımlardan uzaklaşarak, yerini metaforik seviyeye çıkan bir öğrenmeye bırakmaktadır. Bu makalede mimarlıkta ekomimikri konusu ve ekomimaride orman kurma metaforunu esas alan araştırmaya dayalı bir konsept takdim edilmektedir. Önerilen çalışılan bu konseptin dayandığı yaklaşım; mimari mekânları orman ekosistemindeki işleyişi örnek alarak düzenlemeye çalışmak olup, makalede bu yaklaşımın ekomimikri mantığına ve mimari tasarım pratiğine uygunluğu ele alınmaktadır. Araştırma sorusu; Mimari tasarımda biyomimetik bir yaklaşım olarak orman kurma metaforunun unsurlarının neler olduğu, bunun tasarım amacıyla kullanılma potansiyeli ve bu yaklaşımın tasarımda nasıl hayata geçirilebileceğidir. Bu makalede: Biyomimikri ve ekomimikrinin ekolojik mimarideki yeri nedir, ne olmalıdır ve yine biyomimari ve ekosistem temelli tasarım, pratikte nerede buluşabilir, sorularına cevap aranmıştır. Metafor yöntemi kullanılmış ve metafor olarak orman ekosistemi seçilmiştir. Geliştirilen metafor ışığında; ağaç diker gibi bina dikmenin, orman kurar gibi şehir kurmanın imkân ve pratiğinin araştırıldığı bu çalışmanın sonucunda ulaşılan bulgulara dayanarak, mimari tasarım alanına yönelik öneriler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik mimarlık, Biyomimetik mimari, Ekomimikri, Ekosistem, Orman metaforu

Ecomimicry and Forest Building Metaphor in Biomimetic Architecture

Abstract

While architecture turns to natural objects in order to benefit in design, it moves away from analogical approaches and leaves its place to a learning that reaches the metaphorical level. In this article, a research-based concept based on ecomimicry in architecture and the metaphor of establishing a forest in eco-architecture is presented. The approach on which this concept tried to be developed is based; is to try to organize architectural spaces by taking the functioning of the forest ecosystem as an example, and the suitability of this approach to ecomimicry logic and architectural design practice is discussed in the article. Research question: What are the elements of the metaphor of establishing a forest as a biomimetic approach in architectural design, its potential to be used for design purposes and how this approach can be implemented in design. In this article: What is the place of biomimicry and ecomimicry in ecological architecture, what should it be and where bioarchitecture and ecosystem-based design can meet in practice are sought answers. The metaphor method has been used and the forest ecosystem has been chosen as a metaphor. In the light of the developed metaphor, based on the findings obtained as a result of this study, in which the possibilities and practices of planting buildings like planting trees and establishing a city like building a forest are investigated, suggestions for architectural design are presented.

Keywords: Ecological architecture, Biomimetic architecture, Ecomimicry, Ecosystem, Forest metaphor

1. Giriş

Mimari tasarımda tabiatı, yalnızca forma yansıyan bir model olarak ele alan akımların yerini, günümüzde, tabiala her açıdan uyumu yakalamaya çalışan girişimler almaktadır (URL-1). Çünkü tabiat-mimarlık ilişkisi üzerine yapılan okumalar artık analogik yaklaşımdan uzaklaşmakta olup yerini metaforik seviyeye çıkan bir öğrenmeye bırakmaktadır. Bu sayede, tabiattaki malzemeleri kullanırken aynı zamanda tabiattaki malzeme, form ve strüktürlerin nasıl eş zamanlı oluştuğunu görüp doğadaki çalışma prensiplerini keşfeden araştırmacılar, doğaya bakma tarzını da değiştirmektedirler (Alberti, 2003; Avinç ve Selçuk, 2022). Oysa, henüz 20. yüzyılın başlarında Mimar ve teorisyen Le Corbusier, şehirlerin geleceğini hayal ettiğinde, bina tasarımı için, tasarımı doğal dünyanın kısıtlamalarından kurtaracak endüstri ürünü yapay bir estetik öngörmekteydi. Le Corbusier için şehir tabiata yöneltilmiş bir insan operasyonu, ev ise içinde yaşanacak bir makineden ibaretti. O, dünya çapında bir seri imalat seferberliğiyle şekillendirilen bir mimari hayal etti. İdeali, “Bütün kültür ve iklimlere uyan tek tip bina” şeklinde ifade etmekteydi. Le Corbusier'in arkadaşları ise onun bu gelecekçi fikirlerini reddettiler. “Bunlar ancak 2000 yılına” dediler ama onlar da yanılmıştı (URL-1). Çünkü daha 2000 yılına bile gelmeden Corbusier'in dediğinin aksine, değil makine gibi evler için mimarın tabiata operasyon yapması- mimarlığın tabiata ne kadar ayak uydurursa ne kadar uyumlu yaklaşırsa o kadar kazançlı olacağını gördük (Oğurlu, 2020).

İnsanlar birtakım şeyler arasında metaforik ilişkiler kurmayı, bir şeyleri bir şeylere benzetmeyi severler ve bu yöntemi çeşitli alanlarda oldukça sık kullanırlar. Mimarlıkta da bir an için düşünelim: Acaba, binalar canlı olsaydı nasıl olurdu? Ya evlerimiz ve işyerlerimiz ağaçlar gibi, çevrelerine üretken bir şekilde katılan canlı organizmalar olsaydı? Yani, güneşin enerjisini toplayan, karbonu bünyesine hapseden, etrafa oksijen yayan ve manzarayla çevrili bir bina hayal edin, demek istiyoruz. Yine, suda dolaşan besinleri toplayıp tutan sulak alanlar ve botanik bahçeleri tasavvur edin. İnsanın olduğu her yerde temiz hava, çiçekli bitkiler ve her yerde gün ışığı olsun. Böylece mekânın sakinleri ne estetik ve zarafetten ne de sağlık ve konfordan mahrum kalsın. Binalarda yağın yağmuru emmek için toprak ve sedum kaplı bir çatı bulunsun. Binanın yemyeşil eteklerinde oralarda yuva yapan ve beslenen kuşların uçuştuğunu görebilelim. Kısacası o mekânda sağlıklı bir enerji akışı, insan ruhu ve diğer canlılarla uyumlu bir yaşam destek sistemi işliyor olsun (URL-1; URL-6).

Dün için bilim kurgu senaryosu gibi görünen bu manzaranın bugün için artık hiç de öyle olmadığını görüyoruz. Mesela hâlihazırda ağaç gibi yapılar az sayıda da olsa var. Dolayısıyla binalar, şehirler ve bütün yerleşimlerin geleceği konusunda artık yeni beklentiler ve yeni bir duyarlılığın ortaya çıktığını, bir yerde ikamet etmenin, araziye ihtimam göstermek kaydıyla hayata keyiflice bir katılım haline gelebileceğini görüyoruz. Bunun da hep toplumda doğa bilincinin artması, tabiata yönelme ve uyum sağlama gayreti, mimarlıkta ise tabiatı örnek alma sayesinde gerçekleştiğini biliyoruz.

Mimarlığın tabiat ile kurduğu ilişki, eskiden beri esasen tabiattakinden ilham almak veya tabiatı örnek almak olagelmıştır. Zira tasarıma örnek olacak sistem, obje ve modellerin tabiatta bolca bulunduğunu görmekteyiz (Oğurlu, 2022). Tasarım açısından bakıldığında tabiat geçmişten bu yana insanların dikkatini çekmiş, esin kaynağı ve çözüm metodu olmuştur. Bu ilgiyle antik çağdan beri insan tabiatı incelemiş; öğrendiklerini öykünerek, metaforik veya analogik fikirlerle mimaride değerlendirmiştir. Buna göre, kendine mekân var etme ihtiyacında olan insanın tabiata yaklaşımı, mimarının yapısını oluşturmaktadır. Başka bir deyişle, mekân kültürünü tanımlayan esas ilke bireylerin tabiatla arasındaki ilişki olmuştur (Uç, Z, 2014).

Tabiatı taklit etmenin tasarım tarafı için şunu söyleyebiliriz: Mimarlık dışındaki tasarım alanlarında, yani mimari tasarım dışındaki tasarım örneklerinde tabiattaki canlı/cansız tek bir obje ya yapısı veya işleyişiyle taklit edilir. Yani tabiatta mevcut doğal bir varlığın form ve fonksiyonu örnek alınır. Mimari tasarımda ise tek tek objeler yerine bir ekosistem de örnek alınabilir. Bu ise -form ve fonksiyon dışında- tasarımın uygulanacağı belli genişlikteki bir mekânı ve yaşama alanını içereceği için mimari faaliyetin meydana getireceği dokunun doğadaki sistemin ve içinde yer alacağı ekosistemin bileşenleriyle ilişkilendirilmesi ve birlikte analiz edilmesini gerektirir. Temelinde mekânsal düzenlemenin rol oynadığı kent sistemi ile ekosistemin birlikte ele alıp planlanması yoluyla kentsel sistemin devamı sağlanabilir. Bu planlamada ekosistem, fonksiyon ve hizmetleri planlama aracı olarak kullanılmakta ve dolayısıyla planlamanın ekosistem tabanlı olması sağlanabilmektedir.

Kent sistemlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında alan kullanım planlaması açısından önem taşıyan ekosistem hizmetleri ve yeşil altyapı çalışmaları, dünyada birçok gelişmiş ülkede kentsel planlama çalışmalarında etkin olarak kullanılmaktadır. Bilindiği gibi yeşil altyapı sistemleri doğal, yarı-doğal ve kültürel alanların stratejik olarak planlanmış ağlarıdır. Ekosistem hizmetleri ise ekosistem işlevlerinin insanlara doğrudan veya dolaylı olarak sağladığı faydaları tanımlamaktadır. Kentsel yeşil altyapı sadece parklar, oyun alanları, mezarlıklar ve özel bahçeler gibi açık alanlar değil, aynı zamanda yeşil çatılar ve duvarlar, sokak ağaçlarını da kapsamaktadır (Tülek ve E. Mirici, 2019). Yine, yeşil çatı ve duvarlar doğrudan binalar üzerinde yer aldıkları ve binalar ise yapıları çevrede sayıca ve kapladığı alan bakımından ağırlığı oluşturması dolayısıyla bunlar üzerinde özellikle durulmalıdır. Binaların sadece çevresinin fiziki elemanları olarak kalmayıp aynı zamanda yeşil altyapı sisteminin bir parçası haline gelmeleri sağlanmalıdır. Yani, ekosistem hizmetinde yeşil altyapı gibi doğal ve yarı-doğal ekolojik unsurların yanı sıra genelde yapıları çevrenin ana unsurunu oluşturan binalardan da yararlanmanın yollarını aramak gerekmektedir. Yeşil bina, yeşil çatı ve dikey bahçelere örnek olarak Milano'daki Bosco Vertikale ve Madrid'deki Caixa Forum binaları verilebilir. Milano'daki Bosco Vertikale binalarının duvar ve çatılarında 1 hektarlık alana yayılabilecek miktarda toplam 900 ağaç ve ağaççık vardır. Madrid'deki Caixa Forum Dikey Bahçesi ise oluşturduğu ekosistem ile çevreye ekosistem hizmetleri sunmayı sürdürmektedir (Tülek ve E. Mirici, 2019).

Bugün için artık, canlı organizmalar gibi güneşe yönelme, yağmurda kapanma ve benzeri biçimlerde çevreye refleks tepkilerle cevap verebilir binalar tasarlanabilmektedir (Url-3; Oğurlu, 2022). Bu, bir kentsel mekânın da doğal bir ekosistem gibi çevreye refleks gösterebileceğine dair umut vaat etmektedir. Günümüzde, bir bina norm, form ve malzeme yönüyle ne kadar tabiata uyumu gözeterek inşa edilmişse o kadar başarılı ve sürdürülebilir kabul edilmektedir. Ekolojik mimarlıkta ise temel parametre itibarıyla tabiata uyumun esas alındığı görülür (Oğurlu, 2022). Ekolojik tasarım insanı tabiatın ayrı görmemekte, tabii çevre ile yapıları çevrenin bir arada ve

bütüncül olarak ele alınmasını sağlamaktadır (Oğurlu, 2022). Ekolojik ve sürdürülebilir yerleşim modelleri ekolojik sürdürülebilirlikle ilgili olarak; yerleşimin ekosistem bütünlüğünü korumak ve oluşturulan yapay çevrenin doğallığını korumak gibi iki ilke ile hareket etmektedirler (Edward, 2007). Bunları korumanın mümkün olmadığı veya kolay olmadığı hallerde çözüm olarak yapay çevreye ekolojik karakter kazandırılmasına çalışmak gerekmektedir, bunun yolu ise yerleşimin içinde yer aldığı ekosistemi taklit etmekten geçmektedir.

Ekolojik mimarlık tabiata uyumlu veya tabiatla uyumlu mimari yapılar ortaya koymaya çalışırken ekolojik mimari tasarımda binanın oturduğu arazi ve bulunduğu çevre canlı bir sistem (ekosistem) olarak ele alınmaktadır (Aktuna, 2007; Oğurlu, 2020). Buradan hareketle bir mimari tasarımda canlılarla birlikte içinde buldukları ekosistemin de taklit edilebileceğini söyleyebiliriz. Bu noktada mimarlıkta biyomimetik yaklaşımın ve biyomimetik çözümlerin kullanıldığı örnek yapıların, mimarlara yeni tasarım fikirleri üretmede ve sürdürülebilir çözümler bulmada çok önemli bir ilham kaynağı olacağı görülmektedir

Teknoloji ile doğanın birbirine zıt olduğu fikrini yıkan biyomimikri yaklaşımı, bizim de parçası olduğunu unuttuğumuz doğayı bize yeniden hatırlatmıştır. Doğadan ilham alan yenilikler olarak açıklanan biyomimikri, mimaride de bir yaklaşım olarak benimsenerek öne çıkmış durumdadır.

Esasen, biyomimikri bize tabiatın model, ölçü sistem ve fikir olarak alacak çok şeyimiz olduğunu öğretmiştir. Biyomimikri yaklaşımının merkezinde doğal süreçleri anlama ve tasarımda bu süreçlerden ilham alınması vardır. Doğal süreçlerin işleyişini bütüncül olarak görebileceğimiz yer ise ekosistemin kendisidir (Oğurlu, 2022). Ekosistemlerin tasarımlarda taklit edilmesi ise "Ekomimikri" olarak tanımlanmıştır. Ekomimikri ve ekolojik mimarlık tabiatın ilham alma, tabiatı örnek alma, tabiatı taklit etme yönleriyle birbirine oldukça yakın yerlerde durmaktadırlar. Belli bir tasarım sorununu çözmek için en ideal yöntemi seçmek önemlidir. Pek çok metoda aşına olmak tasarımcıya büyük esneklik sağlar. İkonik, analogik, endüksiyon vb. gibi mimari tasarım yöntemlerinden biri de metafor yöntemidir.

Metafor analogik benzetmeye, ilaveten bir de anlam yüklemek demektir. Mimar, tasarım sürecine başlangıç olarak seçtiği metaforu kendince yorumlar, tasarım süreci bu yorum istikametinde gelişir. Tasarımcı bu metaforu projesine/ürüne yansıtmayı hedeflemektedir ve nihayet bu metafor yapıya transfer edilir (URL-7). Kentsel mekânda metafor yaklaşımı tasarım fikirlerini öykünme ve taklitçi uygulamalardan ayıran, yaratıcı tasarıma zemin hazırlayan bir metot olabilmektedir (Dutoğlu ve A. Aktan, 2022). Şu halde şehirlerdeki binaların doğadaki karşılığı olarak ağaçlara dolayısıyla da şehirlerin ormanlar benzetildiğinden hareketle mimari tasarım için biyomimetik bir metafor aranıyorsa bunun "orman kurma" olabileceği, yani mimari yerleşimler için orman ekosisteminin örnek alınabileceği düşünülebilir. Bu çalışmada temel olarak orman kurma metaforu kullanılmıştır. Çalışmanın tabiatı taklit yönüyle somut, fakat metafor geliştirme yönüyle de soyut tasarım boyut vardır. Bir ağaç ile binanın, orman ile yapı bir çevrenin veya kentsel mekânın analogik benzerliklerinin araştırılmış ve geliştirilen orman metaforu ışığında mimari tasarım ve kısmen şehir planlama alanına ait öneriler sunulmuştur.

2. Araştırmanın Yöntemi

Çalışmada kısmen Analoji ve ağırlıklı da Metafor yöntemi kullanılmış ve metafor olarak orman ekosistemi seçilmiştir. Araştırma için belirlenen amaca yönelik olarak; bina ve yerleşim planlama ve tasarımında tabiatı ve özellikle orman ekosisteminden yararlanma konusunda yayınlanmış tez ve makaleler araştırıldı. Keza, ağırlıklı olarak literatür taraması ile içinde; doğayı taklit etme, biyomimikri, ekomimikri, biyomimari ekosistem temelli tasarım, ekolojik mimarlık, ekosistem, orman ekosistemi, orman kurma, metafor, tasarım yöntemi, tasarım stratejileri gibi terimlerinin geçtiği makale, tez, rapor vb. gibi her türlü bilimsel metin ve bu konulara temas eden erişilebilir literatür araştırıldı. Adı verilen terimler teker teker veya ikişer- üçer eşleştirilerek anahtar kelime olarak kullanılmak suretiyle veri tarama yapılmıştır (Tablo 1).

Tarama, veri tabanları üzerinden yürütülerek konu hakkında yayınlanmış literatüre ulaşılmaya çalışılmıştır. Veri tabanı isabetleri gösteren yayınlar önce başlıklarına göre, sonra anahtar kelime uygunluğuna, ardından özetin ve son olarak tam metin uygunluğuna göre sınıflandırılarak makale konusuna uygun olmayan ayıklanmış, uygun olanlar ayrılıp değerlendirilmiştir. Veri tabanı tararken kullanılan araştırma terimleri Türkçe Tablo 1'a ve İngilizce olarak Tablo 1b'de gösterilmektedir.

Tablo 1a. Taranan Veri Tabanları ve Aranan Terimler (Türkçe)

| Veri tabanı | Aranan terimler | Sonuç Sayısı** |
|-------------|--|----------------|
| EKUAL* | Mimarlık ve tasarım veya ekoloji | 1490 |
| | Mimarlık ve tasarım ve biyomimikri veya biyomimetik | 145 |
| | Mimarlık ve tasarım veya topluluk | 1850 |
| | Mimarlık ve tasarım ve metafor veya biyomimikri | 105 |
| | Mimarlık ve tasarım ve metafor veya topluluk | 3.59 |
| | Orman ekosistemleri ve metafor veya biyomimikri veya biyomimetik | 16 |
| | Orman ekosistemleri ve metafor veya topluluk | 388 |
| | Orman ekosistemleri ve metafor ve biyomimikri veya topluluk | 19 |

| | | |
|--------|---|-----|
| EKUAL* | Yapılı çevre ve orman meşçeresi veya orman ekosistemi | 296 |
| | İnsan eliyle yapılmış ve orman meşçeresi ve mimarisi veya orman ekosistemleri | 23 |
| | İmar birimi ve orman meşçeresi veya orman ekosistemi | 0 |
| | Mimari tasarım ve orman meşçeresi veya orman ekosistemi | 0 |
| | Mimari tasarım ve orman ve ekomimikri veya biyomimikri | 0 |
| | Mimari tasarım ve metafor veya orman | 0 |
| | Mimari ve biyomimetik veya metafor veya orman | 0 |

Tablo 1b. Taranan Veri Tabanları ve Aranılan Terimler (İngilizce)

| Database | Search Terms | Number of Results** |
|----------|---|---------------------|
| EKUAL* | Architecture and design or ecology | 11.029 |
| | Architecture and design and biomimicry or biomimetics | 11.005 |
| | Architecture and design or community | 11.043 |
| | Architecture and design and metaphor or biomimicry | 549 |
| | Architecture and design and metaphor or community | 747 |
| | Forest ecosystems and metaphor or biomimicry or biomimeti | 4 |
| | Forest ecosystems and metaphor or community | 389 |
| | Forest ecosystems and metaphor and biomimicry or community | 391 |
| | Built environment and forest stand or forest ecosystem | 2.346 |
| | Artefact and forest stand and architecture or forest ecosystems | 2.585 |
| | Zoning unit and forest stand or forest ecosystem | 2.346 |
| | Architecture design and forest stand or forest ecosystem | 2.346 |
| | Architecture design and forest and ecomimicry or biomimicry | 0 |
| | Architecture design and metaphor or forest | 982 |
| | Architecture and biomimetics or metaphor or forest | 157 |

* <https://kutuphane.ticaret.edu.tr/ekual-veritabanlari/>

** Sadece “architecture; mimari, mimarlık” konularında

Yapılan literatür taraması sonucu elde edilen kaynakların incelenmesi ile konu biyomimesis ve ekomimari ile ilişkilendirilerek başlıca aşağıdaki sorulara cevap arandı:

1. Tasarım nasıl ekolojik olur?
2. Mimaride tabiata uyumun ekolojik çerçevesi nedir?
3. Mimari ekomimikri anlamında orman ekosistemi örnek alınabilir mi?
4. Mimaride tabiata uyum yolunda biyomimari ve ekosistem temelli tasarımdan nasıl yararlanır?
5. Mimari tasarımda biyomimetik bir yaklaşım olarak orman kurma metaforu kullanılabilir mi?
6. Bu metaforunun unsurları nelerdir ve bu yaklaşımın mimarlıkta nasıl uygulanacaktır?

Bu hususları ortaya çıkarmak üzere, elde edilen literatürde mimarlıkta tabiata uyum amacıyla geliştirilen metaforik yaklaşımlar analitik tarzda irdelendi. İrdelemeye esas olmak üzere, ulaşılan bilgi tablolarda gösterildi. Tablolardaki bilgiler bulgular bazında karşılaştırıldı. Elde edilen bulgular analiz edilerek günümüz mimarlığına ışık tutacak öneriler belirlenmeye çalışıldı.

3. Araştırma Bulguları

3.1. Tasarımın Ekolojik Olma Ölçüsü Nedir? Tasarım Nasıl Ekolojik Olur?

En başta, tasarım; tabiatta olanı, yani tabiattaki bir biçim ve işleyişi taklit ederse ekolojik olma yolundadır. Yine, tasarım, tabiattakinebenzediği ölçüde, ona yaklaştığı ölçüde ekolojik olur. Mesela çoğu kuş türü yuvasını mesela serçe ve kumrunun yaptığı gibi bitkisel materyalden veya kırlangıçların yaptığı gibi çamurdan veyahut çulha kuşunun (*Remiz pendulinus*) yaptığı gibi diğer hayvanların yün, tüy ve kıl gibi atıklarından, yapar. Ağaçkakan (*Dendrocopus spp.*) gibi ağaç gövdesini oyup yuvalanan türler, ibibik (*Upopa epops*), serçe (*Passer domesticus*) gibi hazır oyukları yuva olarak kullanan türler de vardır. Keza, taşları bir araya toplayıp yuva kuran türler görülür. Buradan hareketle, taş ve toprağın, ağaç-çalı- ot gibi bitkisel materyalin veya yün gibi hayvansal materyalin ekolojik yapı malzemesi olduğunu doğrudan bunları barınak yapımında kullanın türlere bakarak doğrudan söyleyebiliriz. Yani karada yaşayan herhangi bir hayvan türünün yuva ve barınağını yaparken kullandığı malzeme, bunun mimarlık için de ekolojik bir yapı malzemesi olduğuna işaret eder. Bu konunun malzeme ve form yönüdür. Gerek malzemenin gerekse formun en az enerji sarfiyatını sağlayacak şekilde ve karakterde tasarlanmış olması, tabiattaki obje ve yapıların ortak özelliğidir. Yuva ve barınaklarda kullanılan malzemenin tekrar geldiği yere dönüşü ve dolayısıyla yeniden kullanılabilmesi ise tabiatta kolayca gözlenebilen bir husustur.

3.2. Tabiata Uyumun Ekolojik Çerçevesi

Benyus insan için faydalı bir model olması için tabiatta işleyen dokuz ilkedden bahsetmektedir (Benyus, 1997). Bu prensipler ekosistemin tabiatında var olan özellikleri yansıtmaktadır. Tasarımda bu prensipler göz önüne alındığı zaman tasarım tabiata uyumlu olur ve ekolojik açıdan sürdürülebilir ürünler ortaya konulabilir. Buna göre, doğada işleyen prensiplere uygun tasarlanan eser, doğaya uyum gösterecektir. Her bir ekosistemde işleyiş örneklerini gözleyebileceğimiz bu ilkelere göre Tabiat: Devamlılığını güneş ışığıyla sağlamaktadır; Sadece ihtiyaç duyduğu kadar enerji kullanmaktadır, işlevine uyan formlara sahiptir; işi biten her şeyi geri dönüştürmektedir. Çeşitliliğe bağlıdır ve onu teşvik etmektedir; İşbirliğinin karşılığını vermekte-ödüllendirmektedir; İhtiyacını yerelden talep etmekte, yerelden karşılamaktadır. İhtiyaç fazlasını reddetmekte-geri çevirmektedir; Potansiyelini gerçekleştirilmeye- gücünün sınırlarını zorlamaya çalışmaktadır (Bu ilkeler, ileride, ekomimikri ve orman kurma metaforuyla ilişkilendirilecektir).

Buna göre tabiatın örnek alırken sözelimi çözümün fonksiyonel yönü de olması, yani form yanında tabiattaki işleyişinin binada da tezahür etmesi gereklidir. Bir bina, kullanım ömrü sonunda diğer tasarımlar için kaynak oluşturmali, yaşam döngüsü boyunca tabiatla uyumlu olmalıdır (Oğurlu, 2022).

3.3. Mimari Ekomimikri Anlamında Orman Ekosistemi

Mimari tasarımın ekoloji karakter taşıması için binaların ya da mimari dokunun tabiat ile uyumlu olmasını sağlamak gerektiği bilinen bir husustur. Burada bina bazında ve yerleşim bazında doğaya uyuma dair iki örnek verilecektir.

3.3.1. Bina Bazında Doğaya Uyum İçin Ağaçlar

Tabiatta gözlemlenen malzemelerin enerji korunumu, hafiflik ve bu hafifliğe rağmen sahip oldukları dayanıklılık, mimarlar için ilham kaynağıdır (Oğurlu, 2022). Zira, hiçbir organizma bünyesinde fazlalık içermez; üstlenilen işlevi karşılamak için ne kadar ihtiyaç var ise o kadar malzeme kullanır. Mimarlıkta da hedef, en az malzeme ile binayı taşımanın yollarını bulmaktır. Mesela, onca ağırlık taşıyan koca bir ağacın taşıyıcı elemanı olan kök boğazı ve gövdesinin ağırlığı ağacın toplam ağırlığın yanında çok küçük kalmaktadır. Bu sebeple bina taşıyıcı sisteminde ağaç dalları ve örümcek ağı gibi doğal strüktürler taklit edilegelmiştir (URL- 3; Oğurlu, 2022).

Mimarlık tarihinde ağaçtan esinlenmiş, ağaç gibi bezenmiş, ağaç gibi davranan, pek çok yapı bulunmaktadır (Rian ve Sassone, 2014). "Ağaç gibi bir bina ve orman gibi bir şehir tasarlamak" (McCurry, 2016) fikri her dönem tasarımcıların ilgisini çekmiştir. Günümüzde ise sürdürülebilirlik arayışları tasarımcıların ağaçlara bakışını değiştirmektedir (Avinç ve Selçuk, 2022).

İsveçli mimarlar Vision Division ve bir grup mimarlık öğrencisi tarafından bir atölye çalışması kapsamında 2011 yılında Politecnico Di Milano kampüsünde tasarlanan ve hala büyümekte olan ağaç strüktürü dikkat çekicidir. Orman metaforu ile yola çıkan atölye, dayanıklılık, yeşil tasarım, geri dönüşüm gibi sürdürülebilir gelecek yapılarını araştırmaktadır. The Patient Gardener adı verilen 8 metre çapındaki kubbe strüktür büyürken bükülecek, budanacak ve dokunacak olan 10 Japon kirazı ağacından oluşmaktadır. Ağaçlar, dairenin içine büyüyen yapıya için rehberlik edecek altı metre yüksekliğinde geçici bir ahşap iskeleye bağlanırken, yukarıdaki dallar birinci kat duvarları olarak dışa doğru yönlendirilmektedir. Ağaçlardan dördü, gelecekteki üst kata çıkacak merdiven olmak üzere bitkilerdeki küçük dallar tellerle birbirine yönlendirilmiştir. Ağaç yapısının büyüme sürecine karşı sabırlı olduğunda, doğanın mevcut inşa yöntemlerinde karşılaşılan nakliye ihtiyacı, malzeme israfı gibi sorunları azaltacağı vurgulanmaktadır (Avinç ve Selçuk, 2022).

İnsan tarafından yürütülen her türlü faaliyet ve bunu desteklemek üzere kurulan sistem çevre sağlığı ve ekosistemleri koruduğu sürece sağlıklı kalkınmaya hizmet eder. Bu varsayımı tasarıma uygulayacak olursak, tabiattaki düzenin; mimar, tasarımcı ve planlamacılara bir binanın veya bir şehrin belirli bir yerle olan bağlantısını formüle etmelerine imkân veren bir dizi ilke sunabileceğini görürüz. Söz konusu ilkeler ana hatlarıyla atık-malzeme denklemini kurmak, güneş gelirini kullanmak, çeşitliliğe hizmet etmek şeklinde özetlenebilir.

Atık-malzeme denklemini kurmak, atığın zararsız şekilde doğaya dönmesini veya yeni bir ürün için malzeme oluşturmasını sağlar. Zira, canlı bir sistemdeki her organizmanın sistemde bir görev ve fonksiyonu (ekolojik niş) olup yer aldığı ekolojik süreç, ekosistemin sağlığına katkıda bulunur. Mesela bir ağacın dalı kuruyup yere düşünce ya diğer canlılar için yuva malzemesi olur veya besin olarak ayrışıp toprağa karışır. Tabiatta her bir canlı varlığın atığı bir diğeri için besin veya barınak olur. Tabiattaki beşikten beşiğe besin döngüleri, mimariye uygulandığında, atık unsurunu ortadan kaldırmak ve malzeme ve yapı sistemlerinin tasarımı için modeller ortaya

koymak mümkündür. Beşikten beşiğe döngülerine uygun tarzda tasarlanan malzemeler, toprağa zarar vermeyecek şekilde tekrar toprağa geri döner veya yeni, yeni ürünler için bize malzeme kaynağı sunar.

Canlılar enerjilerini güneşten alıp, öyle gelişirler. Basitçe söyleyecek olursak, bir ağaç, besinini dünyanın tükenmeyen tek enerji kaynağı olan güneş ışığından üretir. Buna benzer şekilde binalarda kolektörle doğrudan güneş enerjisinden yararlanmak; günışığı gibi pasif güneş süreçleri ve yine güneş ışığının kükülediği termal akışların yarattığı rüzgâr enerjisi, enerjinin verimli ve kârlı kullanılmasına örnektir.

“Ağaç” sadece bir tasarım modeli olmayıp aynı zamanda daha birçok yoldan yarayışlı modeller sunar. Dünyanın her yerinde, yerel şartlarla uyumlu şekilde cereyan eden fotosentez ve besin döngüsü, şartı bir form çeşitliliği göstermektedir. Mimarlar ve planlamacılar kendi planlama veya tasarım mekânlarında, ağaç ve diğer bitki türlerine dayalı çeşitli tasarım çözümlerini uygulayarak tabiata zarif ve etkili bir şekilde uyum sağlayan binalar ve şehirler yaratabilirler.

Tabiata uyum için en pratik yol mimari tasarımı ekosistem temeline oturtmaktır. Bu sebeple mimari tasarımda hedef; ekosistemi taklit edebilmek yani ekomimikri amaçlanmalıdır. Ekomimikride, bir ekosistemde işleyen prensiplerinin gözlenip tasarıma uygulanması şeklinde bir yol izlenir. Yani ekosisteme başarılı fonksiyonlar kazandıran prensiplerin taklit edilmesine çalışılır (Pedersen, 2007). Ekomimikri esasen tasarımda tabiatı taklidin en üst/ileri seviyesidir.

3.3.2. Ekosistem Bazında Doğaya Uyum İçin Ağaçlar

Bitki örtüsü kente ekolojisini düzenleyen en önemli unsur olup, boyutu, yoğunluğu ve kent içindeki dağılımı ile önem arz eder. Bu itibarla, kentsel mekânda yapıların ve açık-yeşil alanların yapı ve karakteri ile yüzölçümü ve konumları yaşanabilir kentlerin oluşmasında önemli faktörler olarak hesaba katılmalıdır. Bu sebeptir ki kentsel peyzaj çalışmalarında ağaçlara daha çok yer verilmesi, yol boyu ağaçlandırmaları ve yeşil çatılar gibi yeşili çoğaltan tasarımlarla ağacın kentsel alandaki ekolojik katkıların artmasına çalışılır (Barış, 2005). İdealize etmek gerekirse; yeşil alan yoğunluğu öyle olmalıdır ki mimari yapı; yeşil alanı oluşturan bitki kitlesi arasında ağaçların içinde bir ağaç gibi olmalı veya ormanda ağaçlardan biri gibi olmalıdır. Buradan hareketle, mimari tasarım doğaya uyumu bina gibi tek bir mimari yapıdan daha büyük ölçekte ele aldığımız takdirde uyumun bir yerleşim biriminde yapıların oluşturduğu topluluk üzerinden gerçekleşmesi gerektiğini anlarız. Yani binayı bir ağaç kabul edersek, ortam veya alanı bazında uyum için bu defa tek tek ağaçlarla birlikte ormanı da dikkate almamız gerekmektedir. Alan veya ortam bazında uyum ise bize mimaride biyomimetik mimariye ve tasarımda ekosistem temelli tasarıma işaret etmektedir.

4. Mimaride Tabiata Uyum Biyomimari ve Ekosistem Temelli Tasarım

Mimarlık insanın tabiatı gözlemlemesi, onu taklit etmesi, ondan bir şeyler öğrenmesi ve öğrendiklerini yorumlayarak bir mekâna dönüştürmesi suretiyle gelişmiştir (URL-2; Oğurlu, 2022). Biyomimari ise; doğadan öğrenmenin analogi seviyesinde kalmayıp süreci anlamaya dönük yapılması gerektiğini vurgular. Yani, tabiattaki işleyiş, model, sistem, süreç ve bileşenleri gözlemleyip inceleyerek oradan yeni çözümler için somut ve pratiğe aktarılacak ipuçları bulmaya çalışır (Gülova, 2013; Oğurlu, 2022).

Biyomimari tasarım yönteminin tabiatın tasarım yöntemi ile aynı olması ve tabiattan öğrenip tabiattaki gibi tasarım yapmamızı savunmasıdır. Biyomimari form bağlamında tabiattan esinlenirken, korumacı bağlamda da tabiata katkı sağlamayı ve böylece kullanıcılarına tabiatı yaşatmayı amaçlamaktadır (Gülova, 2013).

Wright’a göre mimar bir yapıyı çalışmadan önce tabiatı çalışmalıdır. Fuller (1932) meşhur makalesine mimari ekolojinin hizmetinde olmalıdır sözleriyle başlar. Pierson (1989) ise binayı yaşayan bir organizma olarak görür (Beyaztaş, 2012). Ona göre, nasıl ki insan cildi, koruyan, yalıtan, nefes alan bir öge ise bina kabuğu da aynı fonksiyonları ifa etmelidir. Aynı benzerliği bir sözgelimi bir ağacın kabuğu ile bina kabuğu arazında da görebiliriz (Oğurlu, 2022).

Bir binada cilt ve deri, yapısı ve fonksiyonları ile taklit edilebilir (Beyaztaş, 2012). Nitekim bugün itibariyle binalar, güneşe yönelme, yağmurda kapanma ve benzeri biçimlerde çevreye refleks tepkilerle cevap verebilir hale gelmiştir. Mesela higroskopik sistem, dışarıdan ek enerji ve mekanizmaya gerek duymadan, tümüyle kendiliğinden hareket etmekte, ortamdaki nem durumuna göre açılarak havalandırmaya imkân sağlayabilmektedir (URL-3). Konvansiyonel mimari anlayışta yapı kabuğu, bir enerji bariyeri olarak pasif şekilde işlev görmektedirken, artık aktif biçimde enerji kontrolü ve üretimi işlevlerini de üstlenmeye başlamıştır (Oğurlu, 2022).

Arap Dünyası Enstitü Binası (Jean Nouvel, 1987) ışığa hassas metal diyaframlar sayesinde oluşturulan interaktif cephesiyle bu alandaki ilk örneklerdendir (Oğurlu, 2022). Tabiattaki malzeme ve formların hafiflik, sağlamlık, dinamik ve statik yüklere dayanım, enerji korunumu sağlayan yapısal ve biçimsel özelliklerinin, yalıtma, kendini onarabilme gibi özelliklerinin gözlemlenmesi, çözümlenmesi ve modellenmesi birçok bilim adamının dikkatini tabiattaki canlı ve cansız oluşumlara yöneltmiştir (URL-4; Oğurlu, 2022).

Biyomimikri doğa temelli tasarım hareketine en büyük katkıyı ortaya koyduğu tasarım metodolojisi ile sağlamaktadır. Çünkü biyomimikri ne malzeme ağırlıklı bir tasarım yaklaşımı ne de sadece bir form arayışı değildir; tabiatın bilincini yine tabiata uyumlu bir bina inşa etmede kullanarak ve böylece tabiata uyum sağlayarak mimarlıkta sürdürülebilirliği yakalamaya çalışmaktadır. Tabiattaki bilinçli tasarım ve işleyiş ise en iyi doğal ekosistemlerde görebildiğimiz için ekomimikri sayesinde ileride binaların ekosistemler üzerinden şekilleneceği tahmin edilebilir (Oğurlu, 2022). Biyomimari, mimarlıkta tasarım yönteminin doğadan öğrenilip doğadaki gibi tasarım yapılmasını önermesi, biyomimetik tasarımdaki “doğadaki tasarımı görebilmek (Benyus, 2002) ve karşılaşılan mimari problemleri bundan ilham alarak çözmeye çalışmak” prensibine tekabül etmektedir (Oğurlu, 2022).

Mesela bazı bakteri türleri, gerekli ortam şartları sağlandığı takdirde başlayan biyolojik bir süreç sonucunda kalsiyum karbonat salgılayarak yapı inşaatında kullanılan kum, toprak gibi materyali birbirine bağlamaktadır. Bu, yapı malzemesinin birbirine tutunmasını

ve sıkılaştırmasını sağlayan bir süreçtir. Bu süreç geleneksel mimarlıkta kullanılan bir yapı malzemesi olan kerpiğin yapımında da etkili olmaktadır. Kerpiç için hazırlanan harç da karıldıktan sonra bir süre bekletilir. Bu bekleme harca katılan bitkisel materyalin salgısı ve bunlarla beslenen bakterilerin kerpiç harcında mayalanmayı sağlaması içindir. Bu ise doğal bir sürecin keşfedilmesi ve yapı malzemesine aktarılmasından başka bir şey değildir (Oğurlu, 2022).

Mimari tasarımda tabiattan yararlanıp tabiattaki düzeni taklit etme prensibi ve binayı bu prensip üzerine şekillendirmek sadece formun kopyalanması veya strüktürün birebir uygulanması demek değildir (Oğurlu, 2022). Amaç fonksiyonel olarak da faydalı olan bir dokunun, formun veya rengin yapıya da aynı avantajı verebilecek şekilde uygulanmasına olanak sağlayacak bir çözüm bulabilmektir. Bu sebeple, bir binanın yapımında tabiattan örnek alınan bir form uygulansa bile çözümün fonksiyonel yönü de olması tabiattaki işleyişinin binada da tezahür etmesi, yani aynı etkiyi göstermesi, sözelimi enerji sarfiyatını minimuma indirebilmesi veya tabiattaki kadar hafif-yalıtkan-dayanıklı vs olması, bina içindeki havanın doğal yoldan tazelenmesi gereklidir. Mesela, Zimbabwe’de bulunan, ofis ve konut binası olarak inşa edilen Eastgate Center binasında termit kulelerinin doğal havalandırma sistemini taklit edilmiştir (Uçar, 2019).

Ekomimikri, tasarımcıları doğal süreçleri gözlemeye ve ekosistemleri anlamaya teşvik etmektedir. Yapı tasarımını yerel ekosisteme entegre etme ve tabiat deneyimi üzerinden yaşam alanları oluşturmayı hedefleyen ekosistem temelli tasarım modelinde ele alınan dört parametre olan; yerel ekosistemin yenilenme süreci, fonksiyonel sürekliliği, mimari yaklaşım açısından ele alınış tarzı ve nihayet insan ile ekosistemin karşılıklı fonksiyonel etkileşimleri konuya dair yön gösterici bir içerik oluşturmaktadır. Ekosistem temelli tasarımın kriterlerini oluşturan tecrübe etme, denge, döngü ve organizasyon kavramları ise tasarımların buldukları araziye uyum göstermelerini sağlamada kullanılmaktadır (Bayraktaroglu, 2013). Yapılar tabiatla birçok çevresel faktör üzerinden etkileşim halindedirler. İç ve dış ortam arasındaki ilişki ilk olarak kabukta gerçekleşir. Kabuk yapıların içindeki habitat ile dış ekosistem arasındaki simbiyotik ilişkiyi karakterize eden önemli mimari unsurdur (Beyaztaş, 2012). Belirleyici ve düzenleyici olma yönüyle yapının ekolojik olması noktasında da önemli bir role sahiptir. Bjarke Architecture Group (BIG) tarafından tasarlanan ve ekomimikri yaklaşımına uygun özellikteki Zira Island projesinde doğal bir ekosistemde olduğu gibi enerji tüketimi sıfır olan bir şehir hedeflenmiştir. Bu şehirde rüzgârdan enerji üretmek için rüzgâr türbinleri, güneş enerjisinden enerji üretmek amacıyla binaların cephe ve çatılarında fotovoltaik paneller tasarlanmıştır (Yazıcıoğlu, 2020).

Bir bina, aynen tabiattaki tasarımlarda gördüğümüz gibi daha az enerji, en az kaynak kullanacak şekilde tasarlanmalıdır. Çünkü, Tabiattaki her canlı, ihtiyaçlarını karşılarken minimum enerji harcaması dolayısıyla kaynakları korur (Oğurlu, 2022). Halbuki, kaynakların aşırı ölçüde kullanılması çevre sorunlarının temelini teşkil etmektedir.

Çevre sorunları ve doğa tahribatında rol oynayan faktörlerden biri de imar faaliyetleridir. Doğal çevre ve ekolojik dengeyi dikkate almayan bir imar çalışmasının ve buna destek veren mimarlığın çevre şartlarının değişmesine yol açtığı, bazen ekosistem unsurlarına ve dolayısıyla ekosistemdeki dengeye zarar verdiği ve ekosistemi bozulmaya doğru götürdüğü bilinen bir husustur. Bu gidişi tersine çevirmek, mimari yapılarda biyolojik varlık ve süreçlerin örnek alınmasına benzer şekilde yapılı çevrenin tamamında o çevreye zemin teşkil eden ekosistemin örnek alınmasına ve ekosistem unsurlarının taklit edilmesiyle mümkün olur. Ekosistem örnek alınarak veya taklit edilerek oluşturulan bir yapılı çevre, içinde yer aldığı doğal ekosistemin kaybolan unsurlarından bazılarının yerini alabildiği veya zarar görenlerin onarılmasına hizmet ettiği takdirde imar ve mimarlık faaliyeti doğayla uyumlu, tabiattaki dengeyi koruyan ve hatta bozulan dengenin yerine gelmesini sağlayabilen bir faktör haline gelebilir. Şu hâlde mimari tasarımda biyomimetik bir metafor olarak orman kurma yaklaşımı, yani orman ekosistemini örnek almanın mimarlık alanına katkı sağlama potansiyeli araştırılmalıdır.

5. Mimari Tasarım Bağlamında Orman Kurma Metaforunun İrdelenmesi

Tabiatta boşluk yoktur. Boş gördüğümüz araziler başta toprak olmak üzere onun üzerinde yetişen bitki örtüsü ve onda barınıp varlığını devam ettiren canlılar tarafından iskân edilmiş vaziyettedir. Çayır, fundalık ve orman gibi farklı bitki örtülerinin kendine göre böcek, kuş, tavşan, geyik gibi sakinleri vardır. Yani, bunların hepsi çeşitli canlılar için muhtelif tipte ve özellikte barınaklar ihtiva eder. Orman, belirli bir alanda canlı ve cansız tüm varlıkların oluşturduğu bir yaşam birliği veya bir toplum olarak tarif edilir. Bu topluma, 30-40 m boyunda geniş gövdeli ağaçlar, yapıları yönünden bunlardan daha küçük olan ağaççıklar, çalılar, otsu bitkilerle toprak üstü ve altında yaşayan mikroorganizmalar da katılırlar.

Genç (2020), tarafından yapılan tarif ise şöyledir: “Orman; kendine has bir iklim ve toprak şartları oluşturabilecek kadar genişlikte bir alanı kaplayan ağaçların, ağaççıkların, otsu bitkilerin, çalılarının, mantarların, toprak üstü ve altında yaşayan diğer mikro ve makro fauna ve flora elemanlarının ortamın canlı ve cansız elemanlarla kurdukları bir sosyal birim veya ilişkiler bütünlüğüdür”.

Orman ekosistemi, belli bir yerde çevrenin tüm cansız fiziksel faktörleri (abiyotik faktörleri) ile, asli unsuru orman ağacı olan bitkiler, hayvanlar ve mikro organizmaların (biyotik faktörlerin) bütününden müteşkil doğal bir birimdir (Lund, 2014). Daha da açacak olursak orman ekosistemini, orman ağaçları ile fizyografik (arazi), iklimatik (iklim), edafik (toprak) ve biyotik (canlı) faktörler oluşturmaktadır (Çepel, 1995). Ekosistemde, iklimatik (iklim şartları), edafik (toprak özellikleri) ve topografik özellikler (yükseltili, bakı, eğim, arazi yüzü şekli), ve biyotik (mikro ve makro organizmalar, flora, fauna ve insanlar) faktörler bir araya gelerek karşılıklı etkileşim ve yardımlaşma ile doğal bir düzen oluşturmaktadır.

Keza, imar faaliyetine sahne olan ve mimari yapılarla kaplı bir arazi de dış iklim şartlarına maruz bulunması, toprak zemine sahip olması, arazinin topoğrafyası ve nihayet binaların işgal ettiği alanlar dışında kalan toprak zeminden beslenen bitki örtüsü ve bu örtüde barınan fauna elemanları ile muhitin diğer sakinleri olan insanları barındırmak suretiyle esasen doğal ekosistemlerle büyük ölçüde benzerlik arz eder. Doğal ekosistemdekinden farkı; bu noktada gerçekleşen insan müdahalesi ve imar faaliyeti sonucu ortaya çıkan yapılı çevredir. İnsan müdahalesi ekosistem kavramına ve ekosistemdeki işleyişe uygun yönde cereyan ederse ve ettiği ölçüde imar muhiti, tabiatla uyumlu olacaktır. Şu hâlde insan müdahalesinin doğal bir ekosistemdeki elemanları ve işleyişi taklit etmesi, mimari

faaliyette tabiat uyumu yakalamanın en kestirme yolu olmaktadır. Konunun analizinde doğal bir ekosistemle, kent ekosisteminin karşılaştırılarak ilerlenebilir.

5.1. İklim Faktörü Yönüyle İrdeleme

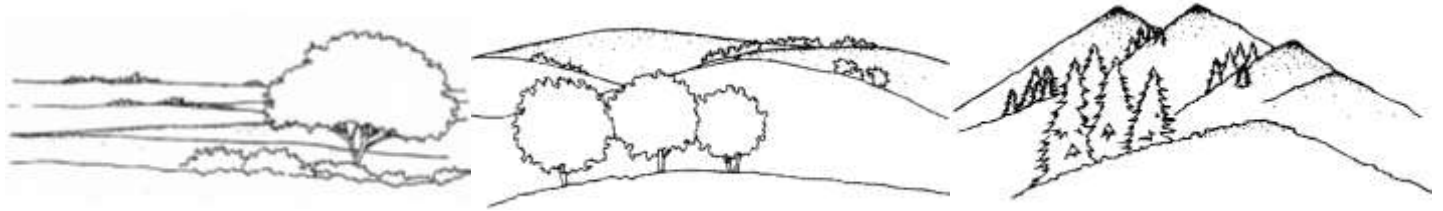
Kentsel alanda iklimik faktörlere yani dış iklim şartlarına olumlu müdahale etme imkânı oldukça sınırlı ve hatta yok denecek kadardır. Bunun yanı sıra ısı adası oluşturma gibi olumsuz etkiler de söz konusudur. Kent iklimi birçok yolla doğal iklim karakterini kaybeder. Mesela kentsel alanda hava sıcaklığı çevresindeki kırsal alanlara göre daha yüksektir. Buna kentsel ısı adası denir (Moriyama ve Takebayash, 1999).

5.2. Toprak Faktörü Yönüyle İrdeleme

Edafik faktörleri etkileme konusunda ise kent mekânsal planlama araçları dolayısıyla büyük imkân bulunmaktadır. Kentin sahip olduğu yeşil alan miktarı, aynı zamanda kentte var olan etkin toprak kitlesini de belirlemektedir. Yani yeşil alanlar üzerinden edafik özelliklere müdahale etme veya edafik faktörden istifade etme imkânı vardır. Yeşil altyapı ile elde edilen sosyal ve ekolojik faydalar dikkate alındığı takdirde doğal ekosistemin korunması kentsel ekoloji için önemli potansiyel taşımaktadır (BenDor vd., 2017).

5.3. Topografik Faktör Yönüyle İrdeleme

Kent planlamada topografyanın dikkate alınması zarureti açıklama istemeyen bir husustur. Ekosistem temelli tasarımın kriterlerine dayanarak tasarımların buldukları araziye uyum göstermelerini sağlama görevi mimara aittir (Bayraktaroğlu, 2013). Esasen tabiatta bu uyumun nasıl olacağına işaret eden pek çok şey vardır. Mesela bunlardan biri bitki örtüsünün topografya ve arazi yüzü şekline bağlı olarak form geliştirmesidir. Bitkiler buldukları arazinin doğal yapısının yansıma eğimindedirler. Bitkinin formu ile arazinin genel şekli arasında bir uyum olduğu görülür (Şekil 1). Buradan hareketle bu bitkilerin yerine koyacağımız binaların da arazinin yapısına uygun formda olması gerektiğini anlarız.



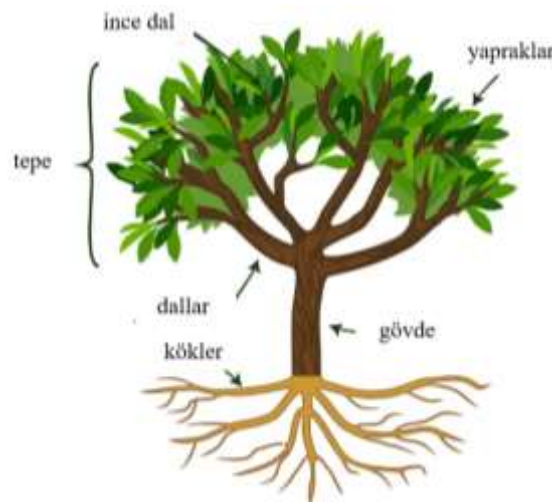
Şekil 1. Bitki Formu ile Arazi Formu Arasındaki İlişki (Figure 1. The Relationship between Plant Form and Land Form)

Topoğrafyanın mimarlık faaliyeti açısından etkiye en açık yönü olan fizyografyanın (arazi yüzü şekli) itibariyle imar faaliyetinden etkilenmemesini ve arazi yüzünün doğal haliyle muhafaza edilmesini sağlamak da yine planlamacının elindedir.

5.4. Biyotik Faktörler Yönüyle İrdeleme

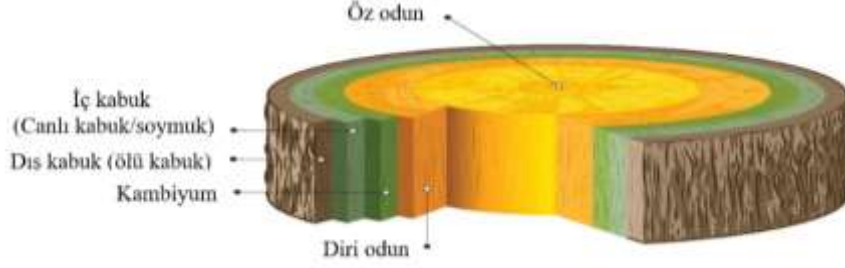
Biyolojik faktörler üzerinde edafik ve fizyografik faktörlerin etkisi altında şekillendiği için toprağa ve topoğrafyaya doğaya uygun müdahale, arazinin ve dolayısıyla kentsel mekânın biyotik elamanları olan bitki ve hayvanları, yani flora ve faunayı da koruyacak ve gelişmesini sağlayacaktır. Kentsel alanların doğal alanlardan farklılaşmasına yol açan asıl faktör yapı ve bunu oluşturan yapılar. Şu hâlde, sorun tabiata uyum adına bunlara ne yapılacağı, bunlara ekosistem mantığıyla nasıl yaklaşılacağıdır. Ancak ondan önce orman ekosisteminin oluşturan en belirgin biyotik unsur olan ağaçları tanımak gerekir.

Bir ağaç üç kısımdan oluşur: Toprak altı kısmını oluşturan kök, toprak üzerinde yükselen gövde ve bu gövdeye bağlı dal ve yapraklar. Buna taç kısmı da denir. Kök, toprak içerisindeki suyu arayıp bulmak üzere suya doğru gelişirken, dal ve yapraklar da güneşe yönelirler. Yani ağacın genel davranışı, kökleriyle suya doğru, yapraklarıyla güneşe doğru yaptığı gelişimdir. Su derindeyse kök daha aşağılara iner. Çukurda veya diğer ağaçların arasında kalan ağaç daha yukarılar doğru dal geliştirir.



Şekil 2. Bir Ağacın Kısımları (Figure 2. Parts of a Tree) (URL- 3)

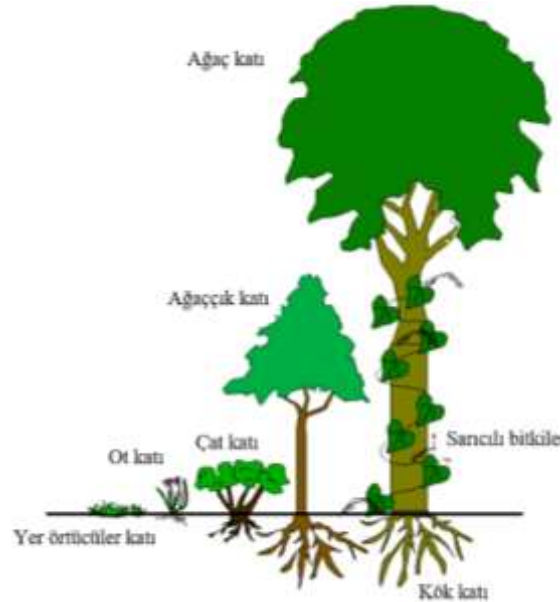
Ağacın iç yapısında yer alan –makale konusuyla ilgili- en önemli yapılar ağacın iletim sistemini oluşturan odun ve soymuk borularıdır. Odun boruları, ağacın diri odun kısmında yer alıp kökün aldığı suyu yukarı iletirken, soymuk boruları da ağacın canlı kabuğunda bulunup yapraklarda fotosentez sonucu oluşan ağaç özsuyunu ağacın aşağı kısımlarına taşır (Şekil 3).



Şekil 3. Bir Ağaç Gövdesine Ait Enine Kesitte Kısımlar ve İletim Sisteminin (Odun ve Soymuk Boruları) Geçtiği Tabakaların (Odun ve Soymuk) Anatomik Görünüşü (Figure 3. Cross Section of a Tree Trunk and Anatomical View of the Layers (Wood and Peel) through which the Conduction System (Wood and Peel Pipes) Passes) (URL- 4).

6. Orman Ekosistemi ile Mimari Yapı ve Yapılı Çevrenin Karşılaştırılması

Orman ekosistemi dış görünüş olarak dört ana katmandan oluşur (Genç, 2020). Bunlar; ağaç-ağaççık ve sarılıcı bitkiler katı, çalı katı, yer örtücü bitkiler katı ot, yosun vb.) katı ile toprak ve kök katıdır (Şekil 4). Yapılı çevreyi oluşturan binalarda, yapının katları dolayısıyla oluşan katmanlardan söz etmek mümkündür (Şekil 5).



Şekil 4. Ormanda Hayat Katları (Figure 4. Floors of Life in the Forest) (Genç, 2020).

Bitki örtüsü kent ekolojisini düzenleyen en önemli unsurdur (Barış, 2005). Bitki örtüsünün karakteri, kent içerisindeki dağılımı, miktar ve yoğunluğu ve gibi faktörler bitki örtüsünün kent ekosistemine katkı derecesi üzerinde etkin rol oynar. Ancak canlı bir yapı olan bitki örtüsünün yerini binalara terk ettiği alanlarda bitki örtüsünün yerini tutmasa bile görevini kısmen de olsa yapacak cansız elemanlar aradığımızda yoğunluğu dolayısıyla akla ilk olarak binalar gelecektir.

Bir bina boyuca bir ağacın yerini tutabilir mi? Onun ekosistemde oynadığı rolü aynen oynayabilir mi? diye sorduğumuzda cevabımız “tabii ki hayır” olacaktır. O zaman bir bina ağacın ekosisteme kattıklarının ne kadarını katabilir ve bunu nasıl yapabilir diye düşünmemiz gerecektir. Böyle bir fikir geliştirme konusunda yol almak için ağacın kent ekosistemindeki olumlu role ve buna karşılık binanın ekolojik anlamda bulunduğu ortama olumlu hangi etkilerde bulunabileceğine bakmak lazımdır. Tartışma bölümünde özellikle bir ağaç bireyi ile bir bina, kısımları ve fonksiyonları bakımından karşılaştırılmış, ağaç ile bina arasında metaforik anlamda hangi benzerlikler bulunabileceği incelenmiş ve böylece ağacın her bir kısmına karşı gelen bina kısmı ve ağaç kısmının işlevine karşılık binada hedeflenen işlevin ne olacağı kestirilmeye çalışılmıştır.

Tartışma bölümünde ayrıca, şekilde kentsel mekân veya bir yerleşim birimi ile bir ormanı özellik ve fonksiyonları itibariyle karşılaştırarak yerleşim mekânı ile orman arasındaki ilişki incelenmiş ve tespit edilen benzerlikler irdelenmiştir.



Şekil 5. Yeşil Binaya Ait Fütüristik Bir Tasvir (Figure 5. A Futuristic Depiction of a Green Building) (URL- 5).

Her bir ağaç bulunduğu yerde çevresinden etkilendiği gibi çevresini de etkiler. Mesela güneş/ışık alır, yağış alır, yapraklarıyla ışığı veya kökleriyle yağış suyunu tutar, gölge yapar, rüzgârı keser, birtakım canlı türlerinin barınmasına hizmet eder vb. Yapılı çevredeki her bir yapı çevresiyle buna çok benzer etkileşim halindedir. Mesela, bir bina komşu binanın yazın güneşi almasını engelleyip rahatsız edici güneş radyasyonu ile fazla ısınmasını önleyebileceği gibi kışın da onu rüzgârdan ve dolayısıyla ısı kaybından koruyabilir. Yağış sularının bir kısmını oturduğu zemin ve çevresiyle veya yeşillendirilmiş bina kabuğuyla tutabilir. İyi tasarlandığı takdirde cephesinden çatısına kadar yer verilebilecek bitkilendirme elemanları ve yeşil doku sayesinde en azından kuş, kelebek gibi fauna elemanlarına yuvalanma imkânı sunabilir.

Bir ağaç ile bir binayı kısımları ve fonksiyonları bakımından karşılaştıracak olursak ağaç ile bina arasında Tablo 2’de görüleceği gibi birçok ilginç benzerlik bulmanın mümkün olduğunu görebiliriz (Tablo 2). Binada ağaca karşılık gelen kısımların ağaçtakine benzer bir işlev yapabileceği varsayımından hareketle, tablonun sağ sütununda ağaçtan beklenen işlev sorgulanmıştır. Mesela ağacın kökleriyle su bulması ve suyu yukarılara çıkarmasına benzer şekilde tasarlanan bir bina taban suyu ve yeraltı suyuna ulaşır, aldığı suyu üst kotalara çıkarabilir. Ağacın tepe çatısını oluşturan dalları kaplayan yaprakların güneş enerjisiyle fotosentez yapmasına benzer şekilde bina çatılarının yerleştirilen panellerle güneş enerjisini toplanmakta ve binanın ısınma ihtiyacında kullanılır. Diğer bazı benzerlikler Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2. Bir Ağacın Kısımları ve İşlevleri ile Bu İşlevlerin Binadaki Karşılığı ve Hedeflenen İşlevler (Table 2. Parts and Functions of a Tree and the Correspondence of These Functions in the Building and Targeted Functions)

| Ağacın Kısımları ve İşlevleri | Ağacın Binadaki Karşılığı ve Beklenen İşlevin Sorgulanması |
|--|--|
| Kök; topraktan su alma | Subasman altı kısım; ağaç kökü gibi yeraltı suyunu alıp üst kata ulaştırabilir mi? |
| Odun boruları suyu ağacın üst kısımlarına iletmeye yarar | Temiz su tesisatı; topraktan alınan suyun binaya dağıtılabilir mi/ |
| Gövde; ağacı ayakta tutar | Taşıyıcı sistem binayı ayakta tutar. Ağaç bir bina için taşıyıcı sistem elemanı olabilir mi? |
| Gövde; iletim borularını çalıştırma | Tesisat sistemi ağacın iletim sistemi gibi bir işlev yapabilir mi? |
| Gövde; Yerden yükselen sarmaşık bitkilere tutunma/ sarılma yüzeyi | Yeşil (bitkilendirilmiş) yapı kabuğu veya duvarlar, tırmanıcı bitkiler için tutunma yüzeyi oluşturur |
| Gövde kabuğu; Ağacı sıcak, soğuk gibi dış ortam şartlarına karşı ve ısı kaybı, nem kaybı gibi olumsuz faktörlere karşı korumak | Bina kabuğu: Olumsuz dış çevre şartlarına ağacın gövde kabuğu gibi karşı koyabilir mi? |
| Dal ve yapraklar; güneş enerjisiyle fotosentez yaparak besin ve enerji üretme | Güneş enerjisinden yararlanmak için binanın herhangi bir yerine monte edilen ısı kolektörleri, bir ağacın dal ve yaprakları gibi tasarlanabilir mi? |
| Tepe çatısı: Yağış sularını tutmak ve toprağa inmesini sağlamak, yapraklarla güneş enerjisini toplayıp, besin sentezleme, solunum, Tepe çatısında gelişen simbiyoz bitkilere ev sahipliği yapmak | Binanın çatısı. Çatı, yağış sularını tutmak ve toprağa ulaştırma çatıya yerleştirilen paneller ile güneş enerjisinden yararlanmak, Yeşil çatı için platform oluşturma görevlerini ağaç tepe çatısı ölçüsünde etkin yapabilir mi? |
| Çatı form ve strüktürü | Çatı strüktürü. Çatı form ve strüktürü ağaçtaki gibi olabilir(mi?) |
| Ağacın bütün kısımları; böcek, sürüngen, kuş ve küçük memeli türleri için yuva ve barınak | Binanın bütün kısımları (özellikle bitkilendirilmişse); böcek, sürüngen, kuş ve küçük memeli türleri için yuva ve barınak olabilir (mi?) |

Kentsel mekan veya kent ekosistemi ile orman ekosistemi arasındaki ilgi ve benzerlik konusuna gelince şunlar söylenebilir, kentsel mekân veya bir yerleşim birimi ile bir ormanı özellik ve fonksiyonları itibarıyla karşılaştırdığımız takdirde yerleşim mekânı ile orman arasında Tablo 3'te görüleceği gibi ilgi kurabilir veya benzerlikler bulabiliriz. Tablo 3'te kentsel mekân ile orman ekosistemi arasındaki ilişki ve benzerlikler gösterilmiş, ancak makale hacmi elvermediği için bu konuda sadece belirli sayıda örnek vermekle yetinilmiştir.

Tablo 3. Kentsel Mekân veya Kent Ekosistemi ile Orman Ekosistemi Arasında Benzeşen Yönler veya İlgi Kurulabilecek Benzer/ Ortak Faktörler (Table 3. Similar Aspects Between Urban Space or Urban Ecosystem and Forest Ecosystem or Similar/Common Factors That Can Be Relevant)

| Kentsel Mekân ve Kent Ekosistemi | Orman Ekosistemi |
|---|--|
| Yapılı çevre | Orman örtüsü |
| Yerleşim arazisi | Orman arazisi |
| Topografya | Topografya |
| Arazi yüzü şekli (Rölyef) | Arazi yüzü şekli (Rölyef) |
| Yerleşim birimi | Meşcere |
| Yerleşim yoğunluğu | Meşcere yoğunluğu |
| Boşluk- doluluk oranı | Meşcere sıklığı |
| Yapılı çevrede toplam yapı kitlesi hacmi | Ormanda ağaç toplam ağaç serveti |
| Yapılı çevrede birim alandaki yapı kitle yoğunluğu | Meşcerenin birim alandaki göğüs yüzeyi |
| Yapı topluluk strüktürü | Meşcere strüktürü |
| Bina çatı mimarisi | Ağaç tepe formu/ yapısı |
| Yapıların güneş ve ışık ihtiyacı ile ışık alma durumu | Meşcerenin güneş ve ışık ihtiyacı ile ışık alma durumu |

Boş bir araziye ağaç dikerek orası ormana dönüştürülebilir. Açık bir sahaya yeterli sayıda ve sıklıkta ağaç dikmek suretiyle orada bir orman kurabilir ve böylece orasını bir orman haline getirebilirsiniz (Dirik, 2007). İmara açılan bir arazide inşa edilen binaları ağaçlara, bu binalarla vücuda gelen yapılaşmayı da ormana benzetecek olursak sonucu ortaya çıkan doku binalardan meydana gelen binalar ormanı gibi düşünülebilir. Buradaki orman, topluluğa kinayedir (metafor), yani oradaki bina topluluğunu ifade etmektedir.

Orman bir ekosistemdir. Ekosistemdeki canlı/cansız her varlık birbiriyle ilişkili olduğu gibi ağaçlar da hem birbiriyle hem de çevresiyle ilişki ve etkileşim içerisindedir. Her bir ağaç bulunduğu yerde çevresinden etkilendiği gibi çevresini de etkiler. Mesela güneş/ışık alır, yağış alır, yapraklarıyla ışığı veya kökleriyle yağışı tutar, gölge yapar, rüzgârı keser, birtakım canlı türlerinin barınmasına hizmet eder vb. gibi.

Orman ekosisteminde; sıcaklık ekstremeleri mutedile döner. Orman çevresindeki ortama göre yazın serin kışın daha ılıktır. Bunu örnek olarak planlayacağımız kentte yapıların ısı adası oluşturmaması, tam tersine yazın güneşe gölge kışın soğuğa siper olmasını hedefleyebiliriz. Bunu kentsel mekândaki yapılara ormandaki ağaçların işlevini yükleyerek yapabiliriz.

Göl ekosisteminde; sudaki termal tabakalaşma sayesinde gölde oksijen sirkülasyonu gerçekleşir. Kentlerin yüksek katlı binalarla kaplı alanı ile daha alçak yapılaşan kesimlerini birbirine bağlayan göletlerin inşası sayesinde kentin termal konforu ve oksijen üretimi artırılabilir mi? Bu gibi soruları cevaplandırmak üzere, konu Tartışma bölümünde irdelenmiştir.

6.1 Sıklık/Yoğunluk, Boşluk/Doluluk Kavramları

Ağaçların meşcere içindeki ortamı kullanma derecesini belirlemede kullanılan ölçü “meşcere sıklığı”dır. Ağacın, bulunduğu alanı gelişen dal ve yapraklarıyla doldurması dolayısıyla- bir meşcerenin ağaç sayısı değişmeden sıklığı değişebilmektedir.

Işık alan yaprakların toplam yüzeyi meşcere sıklığı ile yakından ilgilidir. Işık şiddetinin artması sıcaklığı -yeterli suyun da bulunması kaydıyla- ağacın daha iyi gelişmesine hizmet edeceği için meşcerede sıklığın artması genelde verim artışı yönünde etki eder. Kentsel mekânda bina sıklığı arzu edilen bir durum değildir. Ancak binanın bulunduğu yeri doldurması o denli sakınca teşkil etmez. Tam aksine bina ve çatılarındaki parçalı yapı rüzgârdan, güneşten, yağmurdan yararlanma oranını arttırabilir.

6.2 Strüktür Kavramı

Orman birimlerinin (meşcere) yapısı ormancılıkta “meşcere strüktürü” ile ifade edilir. Mimarlıkta buna terim olarak yapı topluluğun strüktürü tekabül edebilir.

Doğu Londra’da terkedilmiş Eski Shoreditch Metro İstasyonu’nun yeniden yapılandırılması sırasında gerekli görülen günışığı, ışık kirliliği gölgeleme ve kamaşmaya ilişkin analizler yapılmış ve yükseltılarak tasarlanacak yeni yapıyı, çevresinin güneş ışığı haklarını koruyarak inşa etme imkân ve kapasitesi yapının mimarları tarafından araştırılmıştır (Çerçi ve Hoete, 2013). Güneş ışığından yararlanma ve korunma konusunda, binaların yerleşim alanındaki konumları, ayrıık veya bitişik düzende olmaları ve yol genişlikleri ile yapı yükseklikleri arasındaki oranlar önemli rol oynar. Güneşin zamana ve mevsimlere göre sürekli değişkenlik gösteren dinamik yapısı, mimari ve kentsel biçimlendirmeyi doğrudan etkileyebilmektedir (Çerçi ve Hoete, 2013). Bu örnekte görüldüğü gibi bir veya birkaç bina için yapılacak binalarda çevre faktörlerinin kontrolü daha kolay görünmektedir. Ancak birkaç bina kendine ait bir çevresel ortam yani çevre şartları oluşturmaya yetmez. Ekosistem tanımına uygun düşecek bir ortamı teşkil etmede yetersiz kalmayacak ölçüde genişleyerek belli bir büyüklüğe ulaşması da gerekir. Çevre oluşturma bakımından, yan yana tasarlanmış belli sayıdaki bina tek bir

binaya nazaran daha avantajlıdır. Geleneksel mimaride binaların kışın birbirinin rüzgârını kesmesi ve yazın birbirlerinin gölgesinden yararlanması gibi. Binalar bitişik nizam inşa edilmişse bu etki artar. Ayrık nizamda ise bırakılan avlular dolayısıyla ekosistem faktörlerinden toprak ve bitki örtüsüne daha çok yer verilmesi sayesinde mimari doku, doğal şartların tahrip edilmesine değil, onların devamını sağlamaya yol açar.

Bir yapının günışığından yararlanma şartlarını artırarak, maksimum enerji verimliliği ve kullanıcı konforu sağlanması mümkündür. Geleneksel mimariyi ve geçmişteki başarılı doğal aydınlatma tasarımlarını incelemek, iklimle dengeli bina tasarımını anlamak açısından oldukça faydalı olabilir (Çerçi ve Hoete, 2013).

Geleneksel konutlar Osmaneli’nde Batı ve Güney’de bulunan tepelerin yamaçlarına birbirlerinin güneşini kesmeyecek şekilde konumlanmıştır (Karahana, E., 2017). Safranbolu evleri ise yamaçlara yaslanmış evlerin arka cepheleri bölgenin jeomorfolojik yapısı doğrultusunda, biri diğerinin güneşle açısını kesmeyecek şekilde ve kuzeye kapalı konumda düzenlenmiştir (Gezer, 2013).

Yapılarda ve kentsel dokularda güneşe erişimin sağlanmasına ilişkin esasları belirlemek üzere, Güneş Kabuğu (*Solar Envelope*) yöntemi kullanılmaktadır. Bu metot, belli bir (t) zaman diliminde, yakın çevresinde yer alan komşu yapılara gölge oluşturmamayan bir binanın hacimsel sınırları olan ve böylece enerjiyi korumayı, doğal ışığa ve iyi bir yaşam kalitesine erişmeyi sağlayan bir yöntemdir (Capeluto vd., 2003; Çerçi ve Hoete, 2013). Güneş Kabuğu yöntemi içinde bütün tasarım çözümleri mümkündür. Bu sınırlar içinde tasarlanmış bir bina, yakın çevresinde yer alan komşu binalara gölge düşürmeyerek onların da güneşi görmesine imkân verir. Böylece hiçbir binanın diğerinin güneş almasına engel olmaz. Bu yöntem komşunun güneş erişimini garanti eden maksimum yapı hacminin ne olacağını belirlemeye yarar (De Luca vd., 2021). Güneş Kabuğu yöntemini, bu yöntemi dikkate almadan tasarlanmış bir binaya uyguladığımızda, mevcut binanın boyutlarında, mesela cephe genişliğinde, komşu binalara mesafesinde muhtemelen değişiklik yapılmasına ihtiyaç bulunduğu görülecektir. Hatta mevcut binanın ortadan kaldırılması gereği bile ortaya çıkabilir.

Bu durum bir bakıma bir ormanda her bir ağacın bulunduğu yerde güneşten yararlanabilecek ölçüde dal ve yaprak geliştirerek bulunduğu mekânı doldurması ve güneş göremeyen ağaçların ise ölüp ortamdan uzaklaşmalarına benzemektedir. Ormanlık bir alanda ağaçların uygun dağılımı sayesinde mekânda her biri yeterince gün ışığı görecektir. Bu durumda her bir ağaç topluluğu (meşcere tipi) ortaya çıkar.

Ormancılığa ait bir terim olup, sahip olduğu özellikler ile çevresinden belirgin şekilde ayrılan ağaç topluluğu ve orman planlama birimi anlamında kullanılan “meşcere” den hareketle geliştirilen ve meşcerede ağaçların optimal sayı ve dağılımını hesap etmeye yarayan denklem ve modellerden (Wang vd., 2022) yararlanarak kentsel doku birimleri için de güneş kabuğu yaklaşımına benzer yaklaşımlar geliştirilebilir. Meşcere alanında ağaçların dağılım ve sıklığı/yoğunluğu biyoloji kanunlarına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla bu sıklık ve dağılım dengeli ve tabiata uyumlu bir dağılımdır. Ekosisteme şartlarına uyum sağlayamayan veya dengeyi zorlayan meşcere elemanları yani ağaçlar –veya çalı, ot gibi bitkiler –mevcut ekolojik yapı, yani ekosistem tarafından dengelenir ve ortam dışına çıkarılır. İmar alanında bina sıklığı/yoğunluğu ise insan kararına bağlı olarak ortaya çıkmakta gelişmektedir. Bu yoğunluk doğal bir ortam olan orman ağaçları topluluğunda ağaçların dağılımı örnek alarak belirlenebilirse, bina yoğunluğu içinde yer aldığı ekosistemle uyumlu olması sağlanabilecektir, diye düşünülebilir. Bu durumda “optimum meşcere yoğunluğunun” kentsel dokudaki “güneş kabuğuna” tekabül ettiği varsayımıyla hareket edilmektedir.

7. Araştırma Sonuçlarının Tartışılması

Mimarlıkta form arayışı konusunda ilham kaynağı olan ağaçları ve tabiatın öğrenme eylemini mimarlık-analoji-metafor ilişkisi içinde inceleyen birçok çalışmaya rastlanmaktadır (Özdemir ve Aslan Selçuk, 2016; Oğurlu, 2022). Metaforlar tasarım faaliyetinin bilişsel stratejileridir. Metafor kullanmada amaç her şeyden önce yenilikçi tasarımları desteklemek ve tasarım pratiğini geliştirmektir. Metaforlar, kavramsal düşünmede tasarımcıya güçlü imkânlar sunar ve tasarım alanında yaratıcılığı teşvik eden güçlü iletişim araçlarıdır (Xhexhi, 2020).

Tabiatın mimari tasarıma fikir ağaç gibi objelerden ilham alınmasına dair pek çok biyomimikri örneği olmasına rağmen tabiatın bir işleyiş sahne olan ekosistem gibi ortamları taklit eden örnekler o denli fazla değildir. Hatta, ekosistem süreçlerinin taklit edilmesiyle bile mimarlıkta potansiyel olarak daha iyi sürdürülebilir sonuçlar verme potansiyeli bulunmakla birlikte, bu tür çabaların sığ veya mecazi düzeyde kalma tehlikesi de mevcuttur. Buna karşılık, ekosistemlerin işlevlerini (nasıl çalıştıklarından ziyade ne yaptıklarını) taklit etmek daha kolay olabilir. Çünkü ekosistem işlevlerinin birçok yönüyle daha kolayca anlaşılır ve ölçülebilir (Zari, 2015). Dolayısıyla henüz ekosistem süreçlerinin olduğu gibi mimari tasarıma aktarılması bugün için pek mümkün görülmemektedir. Ancak sözcüğü ağaçtaki fizyolojik işleyişin bir binaya ve orman ekosistemdeki işleyişin de yapıyı çevreye taşınması üzerinde durulabilir.

Bu makalede: biyomimikri ve ekomimikrinin ekolojik mimarideki yeri nedir, ne olmalıdır ve yine biyomimari ve ekosistem temelli tasarım pratiğinde nerede buluşabilir sorularına cevap aranmıştır. Metafor yöntemi kullanılmış ve metafor olarak orman ekosistemi seçilmiştir. Yani bir bina ile ağacı, kısımları ve fonksiyonları bakımından karşılaştıracak olursak ağaç ile bina arasında Tablo 2’de görüleceği gibi birçok benzerlikler bulmanın mümkün olduğunu görebiliriz. Kök; topraktan su alma işlevi vardır. Binada subasman altı kısım ise yeraltı suyunu alıp üst kata ulaştırabilir. Burada suyun topraktan derinden yüzeye doğru yükselmesini sağlayan kapilarite hareketi ve bunu sağlayan kapilar enerji, yeraltı suyu veya taban suyunun binaya çıkmasını sağlayacak çözümler üretmemize imkân verebilir.

Ağacın odun boruları suyu ağacın üst kısımlarına iletmeye yarar. Binadaki temiz su tesisatı ise bina dışından alınan suyu binaya dağıtır. Suyun kaynağı yeraltında, toprak yüzeyi seviyesi altında ise bu suyun yukarıya çekilmesi için yine kapilar aksiyon devreye sokacak çözüm geliştirilebilir. Böylece temiz su tesisatı kısmen de olsa topraktan alınan suyun binaya dağıtan bir sistemin elemanı haline gelir. Ağaçta gövde; soymuk borularıyla özsuyu ağacın her tarafına dağıtır. Bu işi binada su tesisat sistemi yapar. Soymuk borularındaki hareket yukarıda aşağı doğrudur. Bina tavan seviyesine kadar çıkarılıp bina alt katında kullanılmak üzere depolanan su için

soymuk borularının işleyişi örnek alınabilir. Gövde; Yerden yükselen sarmaşık bitkilere tutunma/ sarılma yüzeyi oluşturur. Benzer şekilde yeşil (bitkilendirilmiş) yapı kabuğu veya duvarlar da binada sarılıcı bitkilerin sarılma ihtiyacın cevap veren yüzeyler olarak bitkilendirme tasarımına hizmet eder.

Mesela ağacın kökleriyle su bulması ve bulduğu suyu yukarıya çıkarmasına benzer şekilde tasarlanan bir bina, taban suyu ve yeraltı suyuna ulaşım, aldığı suyu üst kotlara çıkarabilir. Ağacın tepe çatısını oluşturan ve dalları kaplayan yaprakların güneş enerjisiyle fotosentez yapmasına benzer şekilde bina çatılarına yerleştirilen panellerle, güneş enerjisi toplanmakta ve binanın ısınma ihtiyacında kullanılmaktadır. Diğer bazı benzerlikler; bir ağacın kısımları ve işlevleri ile bu işlevlerin binadaki karşılığı veya o kısımda umulan /hedeflenen işlevler şöyledir:

Ağaçta gövde, ağacı ayakta tutar. Binada taşıyıcı sistem binayı ayakta tutar. Bu benzerlik canlı ağaçların gövdelerini inşa edilecek bir binanın ana kolon veya dikmeleri olarak kullanabileceğini (canlı strüktürler) akla getirmektedir.

Gövde kabuğu, ağacı sıcak, soğuk gibi dış ortam şartlarına karşı ve ısı kaybı, nem kaybı gibi olumsuz faktörlere karşı koruma işlevine sahiptir. Bunun binadaki karşılığı bina kabuğudur. Buradan, bu sayılan işlevleri binada olabildiğince bina kabuğuna yüklememiz gerektiğini anlamaktayız.

Ağaçta dal ve yapraklar; güneş enerjisiyle fotosentez yaparak besin ve enerji üretme görevini ifa ederler Binada buna karşı gelen yapı veya donanımlar, güneş enerjisinden yararlanmak için binanın herhangi bir yerine monte edilen ısı kolektörleridir. Şu halde kolektörlerin ana taşıyıcı elemanlarının bir ağacın dalları gibi her yöne dallanıp bina çatısında olabildiğince geniş yer tutması, panellerin ise baktıkları yönler ve yöneyleri farklı küçük küçük panelcikler halinde olup bütün çatıyı veya çatıda maksimal bir alan kaplaması bina için optimal enerji kazancı sağlayabilecektir.

Ağaç tepe çatısı; yağış sularını tutmak ve toprağa inmesini sağlamak, yapraklarla güneş enerjisini toplayıp besin sentezleme, solunum fonksiyonlarını yerine getirir. Tepe çatısında gelişen simbiyoz bitkiler de ağaç tepe çatısının canlı flora elemanlarıdır: Bina çatısı ise yağışı tutmak ve toprağa ulaştırma işlevini karşıladığı gibi güneş enerjisinden yararlanmak için çatıya yerleştirilen paneller için ve aynı zamanda yeşil bina ve yeşil çatılar için platform oluşturmaktadır. Şu halde bina çatısı için, çatının yağmur ve kar suyunun toprakla buluşmasını, güneş enerjisini toplayıp binaya aktarma, fazla ısının uzaklaştırılması ve binanın hava almasını sağlayacak elemanlar tasarlanmış olmalıdır.

Ağacın tepe formuna karşılık gelen yapı çatı ve çatının strüktürüdür. Bir yerde yetişen ağacın geliştirdiği tepe formu, o arazinin aldığı güneş ışınının, o araziye düşen yağışın form, miktar ve şiddetine, maruz kaldığı veya kalacağı fırtına gibi ekolojik faktörlere bağlı olarak değişir. Binanın çatı formunu belirleyen doğal faktörler de hemen hemen bunlardır. Fazla kar alan yerlerde yayılış gösteren ağaç türlerinin sivri tepe formuna sahip olması nasıl ki tepede karın birikip oluşturduğu ağırlık yüzünden dalları kırmasını önliyorsa, sivri formdaki bir çatı da aynı fonksiyona sahip olup, karın çatıda yığılıp kalmasını ve çatıyı tehdit edecek ağırlığa ulaşmasını engeller. Şu halde soğuk iklim ve kar yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde oradaki ağaç türlerinin tepe çatıları taklit edilerek sivri çatı inşa etmek isabetli bir tercih olacaktır.

Ağacın bütün kısımları; böcek, sürüngen, kuş ve küçük memeli türleri için yuva ve barınak oluşturduğu gibi, bir binanın tüm kısımları da (özellikle bitkilendirilmişse); böcek, sürüngen, kuş ve küçük memeli gibi hayvancıklar için yuva ve barınak oluşturabilir.

Kentsel mekân veya kent ekosistemi ile orman ekosistemi arasındaki ilgi ve benzerlik konusuna gelince şunlar söylenebilir. Kentsel mekân veya bir yerleşim birimi ile bir ormanı özellik ve fonksiyonları itibarıyla karşılaştırdığımız takdirde yerleşim mekânı ile orman arasında Tablo 3' te görüleceği gibi ilişki veya benzerlikler bulabiliriz. Ancak makale hacmi elvermediği için araştırmanın Bulgular bölümünde bu konuda sadece sayılı birtakım örnekler vermekle yetinilmiştir. Kentsel mekânı yapılı çevre unsuları işgal ederken orman ekosisteminde alana ağaçlar hâkimdir. Hem yerleşim biri hem de orman bir arazi üzerine yerleşmiş olma bakımından biyomimetik tasarım konusunda arazi baz alınabilir. Orman arazisini şekillendiren bir topografya olduğu gibi, yerleşimin şekillenmesi de büyük ölçüde topografik faktörlerin etkisi altında olur.

Tasarım ölçeği anlamında yerleşim birimine benzer karakterde ağaçların oluşturduğu topluluk olan ve orman birimi denilebilecek olan meşcere tekabül eder. Yerleşimde yapılı çevreyi oluşturan yapıların yoğunluğuna karşılık ormanda ağaçların sıklığı meşcere yoğunluğu olarak ifade edilen bir doku oluşturur. Aynı şekilde yapılı çevrede tüm yapıların oluşturduğu bir kitle vardır. Ormanda ise ağaçların oluşturduğu canlı bir kitle (ağaç serveti) yer almaktadır. Yapılı çevrede birim alandaki yapıların kitle yoğunluğu orman ekosisteminde meşcerenin birim alandaki göğüs yüzeyine karşı gelmektedir. Bunlardan birincisi yerleşimin yoğunluğunu, ikincisi ise ormanın yoğunluğunu temsil etmektedir. Orman ekosistemi ağaçların yoğunluğu dengeleyerek kendisini optimal yoğunluğa ulaştırır. Kentsel mekân için de optimal yoğunluğun belli olması ve bu yoğunluğun korunması gerektiği açıktır.

Bir binada verim denince ilk akla gelen enerjinin verimli kullanılması olduğuna göre, ağacın yaptığı gibi güneş gören yüzeylerini (yapraklarını) arttırması ile güneş enerjisinden faydalanma düzeyi artacaktır. Buna göre şayet gün ışığı ve ısısından yararlanmak isteniyorsa toplam yüzeyin –fakat parçalı olarak, ağaç dalları ve yaprakları gibi- farklı yönlere dönük olarak arttırılması gerekecektir.

Yapılı çevrede binaların çatı formu başlıca iklim faktörlerinin etkisi altında şekillenmiştir. Mesela Anadolu'da konutların yayvan çatılı olması onları fırtınaya karşı koruyup çatının uçmasını önlerken, Kuzey Avrupa'da gördüğümüz dik çatılar biriken karı düşürerek çatının göçmesini önler. Orman ekosisteminde de keza ağaçların tepe formu ağacı kara, fırtınaya vb. dayanıklı hale getirmektedir. Orman ağaçlarının tepe taçlarında gördüğümüz ara formları kentsel mekân için geliştireceğimiz farklı çatı formları için tasarım modelleri olarak kullanılabilir.

Yapılı çevrede yapılar ile onlar arasında kalan yol yeşil alan gibi kısımlar dolu-boşluktan oluşan bir doku oluşturur. Ormanda da yine her yer ağaçla kaplı olmayıp, yer yer açıklıklara rastlanır. Bu da orman ekosisteminde çeşitliliği sağlayan ve farklı canlıların farklı

ihtiyaçlarını karşılayan bir yapıyı ortaya çıkarır. Çukur bir yerde kalan ağaç – adeta güneşi görebilmek için başını yukarı kaldırır gibi uzayıp boy geliştirerek güneş ihtiyacını karşılamaya çalışır. Yine, ağaç formu ile arazi formu arasındaki ilişki Şekil 1’de gördüğümüz dik ve engebeli arazide yüksek boylu sivri tepeli ağaçların, düz arazide alçak boylu ve yayılan formda ağaçların gelişmesine bakarak, imar birimlerinde alçak kotlara yüksek kat, yüksek kotlara düşük yükseklikte binalar inşa etmemiz gerektiğini söyleyebiliriz.

8. Öneriler

Kent ekosisteminde yer alan bir bina ile orman ekosisteminde gelişen bir ağaç ele alınacak olursa, ormandaki ağaç ile kentteki binanın ekosistem yaklaşımıyla değerlendirildiğinde ağaç veya binanın ortamları ilişkileri bakımında birtakım benzerlikler gösterdiği görülmektedir. Tek bir ağacın kısımları ve bu kısımların fonksiyonlarına mukabil bunları bir binada da buna karşı gelen benzer özellik veya beklenen fonksiyonlar tespit edilebilmektedir. Aynı şey binaların kapladığı bir alan (imar alanı) ile orman ağaçlarının kapladığı bir alan (meşcere alanı) için de geçerlidir. Özellikle binaların yoğunluğu ile meşcere yoğunluğu arasında ve yine tek bir ağacın kısım ve fonksiyonları arasında ilişki kurmak ve bu ilişkiden tek bir binanın veya bina topluluğunun tasarımında yararlanmak mümkündür. Ormanı bulunduğu yörenin iklimi, toprağı, arazi şartları ve içinde barındırdığı canlı topluluğu şekillendirdiği için ekolojik dengededir. İçindeki ağaçların arasında bu dengeye uyum ve birbirlerini destekleyen bir yapı vardır. Bir bina topluluğu da ekolojik şartları dikkate alarak şekillendiyse ve binalar birbiriyle destekleyici bir uyumu hedefleyen tasarımlarla oluşturulursa tabiat ile uyumu yakalamak ve ekolojik mimari tasarımlar ve ürünler ortaya koymak mümkün olacaktır. Mesela tasarımcı, bitki formu ile arazi formu arasındaki ilişkinin bize işaret ettiği; arazinin düz veya düşük kotlu noktalarına yüksek katlı, buna mukabil yüksek kotlu kısımlarına yüksekliği daha az olan bina inşa etmek gibi daha birçok çözümleri doğada keşfetme imkânı bulacaktır. Bu yapılabildiği takdirde yalnız tek-tek (münferiden) binaların değil tümüyle yapıları çevrenin doğaya uygun şekillenmesini sağlamak mümkündür. Dolayısıyla orman metaforunu kullanıldığı bir ekomimikri yaklaşımı ile kentsel planlama bazında doğaya uyumu da yakalama imkânı bulunmaktadır.

Bu çalışma doğayla uyumlu mimari yolunda ekosistem temelli mimikri veya ekomimikrinin nasıl gerçekleşeceğine dair irdelemelerden oluşmaktadır. Ulaşılan sonuçlar ve öneriler çok yönlü tartışılmaya muhtaçtır. Makalenin böyle bir tartışmayı başlatması halinde analoji ve metafor yöntemleriyle yapılacak yeni yeni çalışmaların bize, binaları ağaç diker gibi tasarlanmanın ve şehirleri orman kurar gibi inşa etmenin yollarını göstereceği ümidindeyiz.

Kaynakça

- Aktuna, M. (2007). Geleneksel Mimaride Binaların Sürdürülebilir Tasarım Kriterleri Bağlamında Değerlendirilmesi-Antalya Kaleiçi Evleri Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Alberti, M., Marzluff, J. M., Shulenberg, E., Bradley, G., Ryan, C. & Zumbrennen, C. (2003). Integrating Humans into Ecology: Opportunities and Challenges for Studying Urban Ecosystems. *Bioscience*, 53(12), 1169-1179.
- Avinç G. M., & Selçuk S. A. (2022). Canlı Strüktürler Sürdürülebilir Yapılı Çevreler için Bir Alternatif Olabilir mi? *Yapı Dergisi*, 42-46.
- Barış M., E. (2005). Kent Planlaması, Kent Ekosistemi ve Ağaçlar, *Planlama Dergisi*, 156-163.
- Bayraktaroğlu, Ö., E. (2013). Mimarlıkta Ekosistem Düşüncesiyle Tasarlamak, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- BenDor, T. K., Spurlock, D., Woodruff, S. C., & Olander, L. (2017). A Research Agenda for Ecosystem Services in American Environmental and Land Use Planning. *Cities*, (60), 260-271.
- Benyus, J., M. (1997). *Biomimicry Innovation Inspired by Nature*, 2 nd ed, HarperCollins Publisher, New York.
- Benyus J., M. (2002). *Biomimicry Innovation Inspired by Nature*.
- Beyaztaş, H., S. (2012). Mimari Tasarımda Ekolojik Bağlamda Biçim ve Doğa İlişkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Capeluto, I., G., Yezioro A. & Shaviv, E. (2003), *Climatic Aspects in Urban Design: A Case Study*, Elsevier, *Building and Environment*, 38(6), 827-835.
- Çepel, N. (1995). *Orman Ekolojisi Ders Kitabı*, İstanbul İÜ Basımevi ve Film Merkezi., İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İÜ Yayın (3886).
- Çerçi, S. & Hoete, A. (2013). Binalarda Günışığı Etkisinin Değerlendirilmesi ve Londra’dan Bir Örnek, *Mimarlık Dergisi*, Sayı 369.
- De Luca F., Doğan T. & Sepúlveda A. (2021). Reverse Solar Envelope Method. A New Building Form-Finding Method That Can Take Regulatory Frameworks into Account, Volume 123(103518), <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103518>
- Dirik, H. (2007). *Kentsel Peyzaj Düzenlemelerinde Dikimin Genel İlkeleri ve Materyal Tiplerine Göre Uygulama Teknikleri*, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul.
- Dutoğlu, T., Aktuğlu Aktan., E., Ö. (2022). Kentsel Mekânda Metaforik Yaklaşımlar: Nesnel Tasarım Kriterleri Bağlamında Bir Analiz Yöntemi Önerisi, *Tasarım Kuram Journal*, 18(36), 129-149. doi: 10.14744/tasarimkuram.2022.67625
- Genç, M., Taşeli, B., & Atar, E. (2020). *Türkçe-İngilizce Orman Kurma & Çevre Koruma Kavramlar*, Musa Genç Kitaplığı Bilimsel Yayınlar E-Kitap Serisi No 2, ISBN: 978-605-06176-0-3
- Gezer, H. (2013). Geleneksel Safranbolu Evlerinin Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(23), 13-31.
- Gülova, D. (2013). *Mimarlık’ta Doğaya Yönelim ve Biomimari*, Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

- Edwards, B. (2007). Sürdürülebilirlik Kültürü ve Mimari Tasarımın Önündeki Güçler, Ekolojik Mimarlık ve Planlama Ulusal Sempozyumu, Antalya, 22-34.
- Karahan, E., E. (2017). Geleneksel ve Çağdaş Konut ve Ev Yaşam Tarzlarının Sürdürülebilirliği: Osmaneli Örneği/ Geleneksel ve Günümüz Konutunda Sürdürülebilirlik ve Yaşam Alışkanlıkları: Osmaneli Örneği. Megaron, 12(3):497-510 Doi: 10.5505/megaron.2017.27037.
- Lund H. G. (2014). Orman Nedir? Tanımlar Farklı Sonuçlar Doğurur-Türkiye Örneği (Çeviren: Bekir Kayacan), Avrasya Terim Dergisi, 2(1), 9-16.
- McCurry, M., (2016). Designing a Building Like a Tree, <https://barkhouse.com/2016/04/07/bark-house-cradle-to-cradle-recertification/>
- Moriyama M., H. Takebashi, (1999). Making Method of Klimatopea Map Based on Normalized Vegetation Index and One Dimension Heat Budget Model, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 81(1999), 211-220.
- Oğurlu, İ. (2020). Ekolojik Mimarlık, İstanbul Ticaret Üniversitesi Çevre ve Doğa Bilimleri UAM/ Akademik Sunumlar, <https://ticaret.edu.tr/cevre-ve-doga-bilimleri-uygulama-ve-arastirma-merkezi/wp-content/uploads/sites/46/2021/11/ekolojik-mimarlik-idr.pdf> Erişim Tarihi, 15.09.2023.
- Oğurlu, İ., (2022). Ekolojik Mimari Tasarımda Tabiatı Taklidin Çerçevesi, 7. Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi, 29-30 Nisan, ISBN 978-625-7367-50-9.
- Özdemir, N. B. & Arslan S. S., (2016). Tree Metaphor in Architectural Desing, IJAUS International Journal of Architecture and Urban Studies, 1(1), 64-75.
- Rian, I. M., & Sassone, M. (2014). Tree-inspired dendriforms and fractal-like branching structures in architecture: A brief historical overview. Frontiers of Architectural Research, 3(3), 298-323.
- Tülek, B. & Ersoy M., M. (2019). Kentsel Sistemlerde Yeşil Altyapı ve Ekosistem Hizmetleri Peyzaj Eğitim Bilim Kültür ve Sanat Dergisi, 1(2), 1-11.
- Uç, Z., B. (2014). Mimari Tasarımda Biyomorfik Yaklaşımlar, Yakın Doğu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Anabilim Dalı, Lefkoşa.
- Uçar, S. (2019). Mimari Açından Biyomimikrinin Tasarım Paradigması Olarak Değerlendirilmesi, SETSCI Conference Proceedings, 4 (3), 213-219.
- URL-1 <https://www.arkitera.com/haber/her-sey-bir-metaforla-basladi/>
Erişim tarihi 01.10.2024
- URL-2 <https://mcdonough.com/writings/buildings-like-trees-cities-like-forests/>
Erişim tarihi 01.10.2024
- URL- 3 <https://www.snohomishtree.com/blog/basic-tree-anatomy-the-parts-of-a-tree-and-their-function>
Erişim tarihi 01.10.2024
- URL-4 <https://ecochoice.co.uk/news/blog/item/sapwood-vs-heartwood>
Erişim tarihi 01.10.2024
- URL-5 <https://peyzax.com/yesil-binalar-futuristik-yesil-mimari-ornekleri/>
Erişim tarihi 01.10.2024
- URL- 6 <https://slideplayer.biz.tr/slide/3654926/>
Erişim tarihi 01.10.2024
- URL- 7 <http://dSPACE.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/11161>
Erişim tarihi 01.10.2024
- Xhexhi, K. (2020). Metaphor in Eco Architecture, International Journal of Software & Hardware Research in Engineering, 8(8), 23-30, Doi<10.26821/IJSHRE.8.8.2020.8804>
- Yazıcıoğlu, B., A. (2020). Yapı Kabuklarının Termoregülasyonu: Biyomimetik Bir Yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Ankara.
- Wang, D.; Li, J., & Tang, T. (2022). Determining the Optimal Density of Phoebe bournei Plantations Based on Dynamic Programming under Close-to-Nature Management Measures, Sustainability, 14(2), 847, <https://doi.org/10.3390/su14020847>.
- Zari, Z. M., (2007). Biomimetic Approaches to Architectural Design for Increased Sustainability. In The SB07 NZ Sustainable Building Conference, 1-10.
- Zari, Z. M., (2015). Ecosystem Processes for Biomimetic Architectural and Urban Design, Architectural Science Review, 58(2), 106-119, Doi: 10.1080/00038628.2014.968086



Leveraging Pre-trained 3D-CNNs for Video Captioning

Bengü Fetiler^{1*}, Özkan Çaylı¹, Volkan Kılıç¹

¹ İzmir Katip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2761-7751, 0000-0002-3389-3867, 0000-0002-3164-1981), y220207008@ogr.ikc.edu.tr, ozkan.cayli@ikcu.edu.tr, volkan.kilic@ikcu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 6 Ekim 2023 ve Kabul Tarihi 19 Kasım 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10623749)

ATIF/REFERENCE: Fetiler, B., Çaylı, Ö., & Kılıç, V. (2024). Leveraging Pre-trained 3D-CNNs for Video Captioning. *European Journal of Science and Technology*, (53), 58-63.

Abstract

Video captioning is a visual understanding task that aims to generate grammatically and semantically accurate descriptions. One of the main challenges in video captioning is capturing the complex dynamics present in videos. This study addresses this challenge by leveraging pre-trained 3D Convolutional Neural Networks (3D-CNNs). These networks are particularly effective at modeling such dynamics, enhancing video contextual understanding. We evaluated the approach on the Microsoft Research Video Description (MSVD) dataset, with commonly utilized performance metrics in video captioning including CIDEr, BLEU-1 through BLEU-4, ROUGE-L, METEOR, and SPICE. The results show significant improvements across all these metrics, proving the advantage of pre-trained 3D-CNNs in enhancing video captioning accuracy.

Keywords: Video Captioning, Video-Language Multimodal Learning, Motion Features.

Video Altyazılama için Önceden Eğitilmiş 3B-CNN'lerden Yararlanma

Öz

Video altyazılama, hem dilbilgisel hem de anlamsal olarak doğru açıklamalar oluşturmayı amaçlayan bir görsel anlama görevidir. Video altyazılama ana zorluklarından biri, videolardaki karmaşık dinamikleri yakalamaktır. Bu çalışma bu zorluğu aşmak için önceden eğitilmiş 3B Evrişimli Sinir Ağlarını (3D-CNNs) kullanmaktadır. Bu ağlar bu tür dinamikleri modellemede özellikle etkilidir, böylece videoların bağlamsal anlayışını artırır. Önerilen yaklaşım, video altyazılama için yaygın olarak tanınan bir ölçüt olan Microsoft Araştırma Video Açıklama (MSVD) veri seti üzerinde değerlendirildi. Performansı değerlendirmek için BLEU-1'den BLEU-4'e, CIDEr, ROUGE-L, METEOR ve SPICE de dahil olmak üzere standart metrikler kullandık. Sonuçlar, tüm bu metriklerde önemli iyileşmeler göstererek, önceden eğitilmiş 3D-CNN'lerin video altyazılama doğruluğunu artırdığını vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Video Altyazılama, Video-Dil Multimodal Öğrenme, Hareket Nitelikleri.

* Corresponding Author: y220207008@ogr.ikc.edu.tr

1. Introduction

Video captioning is a task that involves generating descriptions for video frames by leveraging techniques from natural language processing and computer vision fields. These descriptions are expected to be grammatically correct and semantically accurate. Recently, there has been increased attention on video captioning studies due to their potential applications in video understanding, video retrieval, and video caption generation (Çaylı et al., 2023; Gan et al., 2016; Guo et al., 2016; Shen et al., 2013).

Earlier studies in captioning have explored various approaches, including template-based, retrieval-based, and deep learning-based. One template-based approach uses a predefined template to translate semantic representation into a caption (Venugopalan et al., 2014). The retrieval-based approach employs a compositional semantics language model that breaks down video descriptions into subjects, verbs, and objects. These elements are then transformed into word vectors, effectively capturing the meaning of the content (Guadarrama et al., 2013).

Recently, deep learning-based approaches have emerged as valuable tools for generating more accurate captions (Aydın et al., 2022; Baran et al., 2021; Çaylı et al., 2022; Çaylı et al., 2021; Fetiler et al., 2021; Keskin, Çaylı, et al., 2021; Keskin, Moral, et al., 2021; Kılıcı et al., 2023; Kılıç, 2021; Makav & Kılıç, 2019; Uslu et al., 2022). These approaches leverage deep learning to manage the complexity of videos, including diverse objects, scenes, and actions. Various deep learning-based encoder-decoder architectures have been proposed. These architectures typically combine convolutional neural networks (CNNs) to extract features and recurrent neural networks (RNNs) for caption generation (Akosman et al., 2021; Amaresh & Chitrakala, 2019; Doğan et al., 2022; Kılıç et al., 2022; Kılıç et al., 2014; Koca & Kılıç, 2023; Koca et al., 2023; Mercan et al., 2020; Mercan & Kılıç, 2020; Moral et al., 2022; Palaz et al., 2021; Sayracı et al., 2023). There are various CNN architectures commonly employed in the encoder for feature extraction from video frames to feed RNN-based decoders (Chollet, 2017; Doğan et al., 2024; Szegedy et al., 2016; Targ et al., 2016). However, conventional RNNs encounter challenges such as vanishing and exploding gradient issues, limiting their ability to process long input sequences due to short-term memory. Two types of RNNs have been proposed to address these challenges: Long Short-Term Memory (LSTM) and Gated Recurrent Unit (GRU). LSTM networks introduce three gates: the input gate, the forget gate, and the output gate. These gates, along with two states known as the hidden state and memory cells, enable LSTMs to capture long-term dependencies in sequences effectively. On the other hand, GRU networks consist of a hidden state and two gates: the update and the reset gate. GRUs can dynamically determine, by utilizing these gates, the amount of information to retain from previous time steps and update their hidden state accordingly. This enables GRUs to model dependencies in sequences with varying lengths.

A video captioning approach that utilizes the encoder-decoder architecture incorporates a hierarchical recurrent neural encoder (HRNE) with a two-layer LSTM (P. Pan et al., 2016a). The HRNE extracts temporal features from video frames, which serve as input for the LSTM-based decoder that generates captions. The LSTM hidden state and memory cell are carried forward to the next step, except when a new video time boundary is detected.

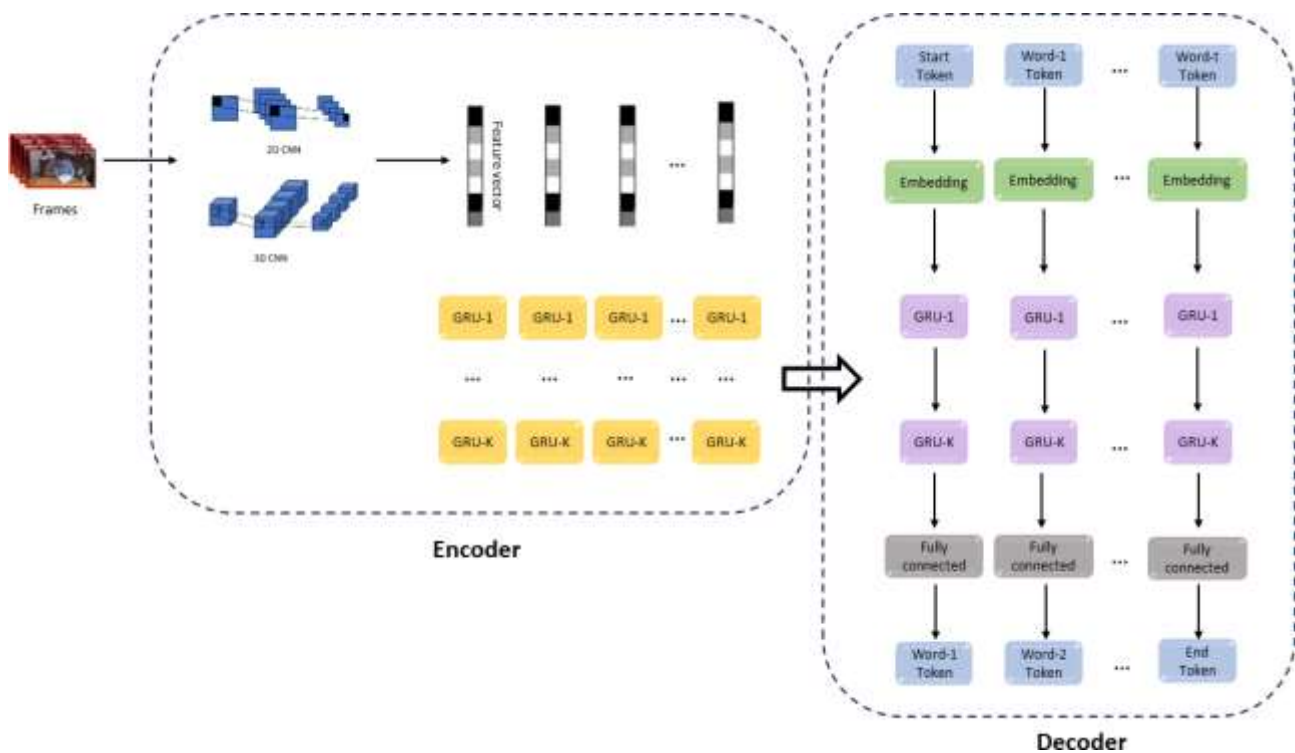


Figure 1- Proposed Approach

Table 1. Comparison of Different 3D-CNN Architectures with Inception-v3

| Multi-layer GRUs | # of Layers | CIDEr | BLEU-4 | BLEU-3 | BLEU-2 | BLEU-1 | ROUGE-L | METEOR | SPICE |
|--------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| S3D+Inception-v3 | 1 | 0.860 | 0.494 | 0.588 | 0.678 | 0.802 | 0.712 | 0.350 | 0.058 |
| | 2 | 0.863 | 0.493 | 0.588 | 0.685 | 0.807 | 0.712 | 0.350 | 0.060 |
| | 4 | 0.789 | 0.492 | 0.593 | 0.693 | 0.814 | 0.702 | 0.335 | 0.064 |
| R3D+Inception-v3 | 1 | 0.770 | 0.442 | 0.547 | 0.618 | 0.780 | 0.692 | 0.330 | 0.054 |
| | 2 | 0.809 | 0.453 | 0.550 | 0.654 | 0.784 | 0.700 | 0.330 | 0.055 |
| | 4 | 0.850 | 0.502 | 0.585 | 0.684 | 0.808 | 0.711 | 0.339 | 0.061 |
| P3D+Inception-v3 | 1 | 0.785 | 0.462 | 0.561 | 0.651 | 0.774 | 0.700 | 0.329 | 0.054 |
| | 2 | 0.822 | 0.478 | 0.576 | 0.672 | 0.793 | 0.708 | 0.337 | 0.058 |
| | 4 | 0.808 | 0.477 | 0.584 | 0.684 | 0.805 | 0.704 | 0.330 | 0.063 |
| MVIT+Inception-v3 | 1 | 0.803 | 0.458 | 0.561 | 0.661 | 0.786 | 0.700 | 0.330 | 0.055 |
| | 2 | 0.716 | 0.465 | 0.562 | 0.653 | 0.782 | 0.699 | 0.333 | 0.056 |
| | 4 | 0.820 | 0.482 | 0.582 | 0.680 | 0.801 | 0.708 | 0.333 | 0.058 |
| Inception-v3 | 4 | 0.715 | 0.491 | 0.591 | 0.692 | 0.813 | 0.701 | 0.334 | 0.063 |
| S3D | 4 | 0.788 | 0.491 | 0.592 | 0.691 | 0.813 | 0.701 | 0.335 | 0.063 |
| R3D | 4 | 0.513 | 0.370 | 0.471 | 0.574 | 0.720 | 0.651 | 0.288 | 0.043 |
| P3D | 4 | 0.230 | 0.270 | 0.373 | 0.488 | 0.670 | 0.621 | 0.240 | 0.038 |
| MVIT | 4 | 0.181 | 0.330 | 0.490 | 0.601 | 0.742 | 0.611 | 0.240 | 0.040 |

The Sequence-to-Sequence Video-to-Text (S2VT) approach was proposed for video captioning to capture the temporal structure of videos and represent them as fixed-length vectors. This S2VT approach employs LSTMs in both its encoder and decoder, facilitating the encoding of the temporal structure of video and the generation of captions (Venugopalan et al., 2015).

In this paper, we propose a video captioning approach with a combination of two-dimensional (2D) and 3D-CNN architectures and multi-layer GRU to extract features of the videos on the encoder side. Inception-v3 as 2D-CNN is employed to extract appearance features from video frames, whereas S3D, R3D, P3D, and MVIT as 3D-CNNs are utilized for the motion features. Then, a multi-layer GRU is employed to preserve the semantic information of the video and leverage contextual information more effectively. On the decoder side, a multi-layer GRU is utilized to generate more accurate captions by leveraging its ability to compute complex representations. Experimental results are obtained on the MSVD dataset using various evaluation metrics, including BLEU-n (Papineni et al., 2002), CIDEr (Vedantam et al., 2015), METEOR (Banerjee & Lavie, 2005), ROUGE-L (Lin, 2004), and SPICE (Anderson et al., 2016). These metrics are used to measure the accuracy of the proposed approach on captioning performance and to compare with state-of-the-art approaches.

The rest of this paper is structured as follows: Section 2 introduces the 2D and 3D-based sequence-to-sequence approach for video captioning. In Section 3, we describe the dataset, performance metrics, and results achieved by our proposed approach. Section 4 provides the conclusion and outlines future research directions.

2. Proposed Approach

In this section, we introduce our proposed approach as shown in Figure 1 for video captioning based on sequence-to-sequence learning which utilizes pre-trained 3D-CNNs.

The proposed video captioning approach is employed under the encoder-decoder framework. In this framework, the encoder extracts visual attributes from videos. These extracted attributes are then fed into the decoder, which generates descriptive captions detailing events and scenes corresponding to relevant parts of the video.

For each iteration, the multi-layer GRU of the encoder receives the updated hidden state from the previous iteration until it reaches the last feature vector. The final hidden state of the multi-layer GRU in the encoder is then passed to the decoder for caption generation. The video decoder consists of an embedding layer, a multi-layer GRU, and a fully connected layer. Caption generation begins with a predefined start token at $t = 0$ and continues for a variable length T . The embedding layer transforms each token into a meaningful latent vector containing linguistic features. The latent vector is then provided as input to the first GRU layer. The output from this layer is then transferred to the following layer. This procedure is carried out K times, with K denoting the total count of GRU layers. The output of the multi-layer GRU is then directed into a fully connected layer, which calculates the prediction probabilities and generates the subsequent word in the caption. The fully connected layer generates the token for the first word (word-1), which will be used in the following step. This word generation procedure continues for T iterations until the end token is reached.

All generated tokens are converted into their corresponding words to form a caption. To evaluate the impact on captioning performance, we varied the number of GRU layers, testing configurations with 1, 2, and 4 layers on both the encoder and the decoder sides.

Table 2. Performance Comparison of the Proposed Approach and State-of-the-Art Architectures on the MSVD Dataset

| | CIDEr | BLEU-4 | BLEU-3 | BLEU-2 | BLEU-1 | METEOR |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| (P. Pan et al., 2016b) | - | 0.438 | 0.551 | 0.663 | 0.792 | 0.331 |
| (Baraldi et al., 2017) | 0.635 | 0.425 | - | - | - | 0.324 |
| (Yao et al., 2015) | 0.517 | 0.419 | 0.526 | 0.647 | 0.800 | 0.296 |
| (Yu et al., 2016) | 0.658 | 0.499 | 0.604 | 0.704 | 0.815 | 0.326 |
| (Y. Pan et al., 2016) | - | 0.453 | 0.554 | 0.660 | 0.788 | 0.310 |
| Proposed S3D with 2-layer GRU | 0.863 | 0.493 | 0.588 | 0.685 | 0.807 | 0.350 |

3. Experimental Evaluations

3.1. Dataset

Various datasets, M-VAD (Torabi et al., 2015), MPII-MD (Rohrbach et al., 2015), MSR-VTT (Xu et al., 2016), and MSVD (Chen & Dolan, 2011), have been employed to evaluate the performance of various video captioning approaches. M-VAD comprises 48,986 videos extracted from 92 movies, 38,949 training, 4,888 validation, and 5,149 test videos. Each video in M-VAD is annotated with a single caption. The MII-MD dataset is a large-scale collection of approximately 68,337 videos, with each video possessing one reference caption. MSR-VTT contains 10,000 videos with diverse content, such as news and sports. Each video in this dataset is annotated with 20 reference captions. The MSVD dataset consists of 1,200 training videos, 100 validation videos, and 670 test videos sourced from YouTube. Each video in MSVD is associated with 40 captions. We chose the MSVD dataset for the evaluation of our proposed video captioning approach due to its extensive reference captions.

3.2. Evaluation Metrics

The performance of the video captioning approaches is evaluated using several metrics, including BLEU-n ($n = 1, 2, 3, 4$), METEOR, ROUGE-L, SPICE, and CIDEr. BLEU-n measures the similarity between a machine-generated caption and reference captions. BLEU-n considers n-grams (contiguous sequences of n words) to evaluate the quality of the generated caption. METEOR evaluates the overall quality of the generated caption by considering various aspects such as precision, recall, and alignment with the reference captions. ROUGE-L measures the similarity between the generated caption and reference captions based on the longest common subsequence of words. SPICE is designed explicitly for captioning tasks and evaluates the semantic suggestive content of the generated and reference captions. CIDEr, also designed for captioning, calculates the average cosine similarity between the generated and reference captions. CIDEr is often used to sort the results in image and video captioning tasks due to its better correlation with human judgment than BLEU-n, METEOR, SPICE, and ROUGE-L. For our evaluation, we prioritize the CIDEr metric to sort results, as it aligns more closely with human judgment compared to the other metrics.

3.3. Results and Discussion

Table 1 comprehensively evaluates various 3D-CNN architectures paired with Inception-v3, using CIDEr, BLEU (1-4), ROUGE-L, METEOR, and SPICE metrics. The S3D+Inception-v3 Multi-layer GRU with 2 layers demonstrated superior performance, yielding a CIDEr score of 0.863, which indicates its enhanced ability to generate accurate descriptions of videos aligned with human annotations. Furthermore, it showed consistent performance across the BLEU-3, BLEU-2, and BLEU-1 metrics. The four-layer S3D+Inception-v3 Multi-layer GRU outperformed in terms of the SPICE metric, highlighting its proficiency in evaluating semantic content. Moreover, the R3D+Inception-v3 Multi-layer GRU with 4 layers achieved a remarkable BLEU-4 score of 0.502.

Table 2 benchmarks the proposed S3D with a 2-layer GRU against state-of-the-art approaches on the MSVD dataset. Remarkably, the proposed approach achieves the highest CIDEr (0.863) and METEOR (0.350) scores, indicating enhanced video description quality.

Although our approach excels in BLEU-4 (0.493), indicating relevant and coherent long caption generation, it is outperformed by (Yu et al., 2016) in the metrics BLEU-1 to BLEU-3. This demonstrates that their method generates short captions more accurately. The results emphasize the advanced semantic caption generation of the proposed approach while comparing the competitive domain of video captioning architectures.

4. Conclusion

In this study, a video captioning approach has been developed under the encoder-decoder-based sequence-to-sequence approach. Different 2D and 3D-CNN architectures were used to extract the features of the video frames, and a multi-layer GRU was used to process the features and generate the video caption. The evaluations in the MSVD dataset show that the proposed approach improves the accuracy of 3D-CNN architectures in generating meaningful captions. We plan to explore ensembles of 3D-CNN architectures in our future study. Additionally, an evaluation of the feature extraction and representation capabilities of these architectures will be conducted to provide insights into their strengths and weaknesses.

5. Acknowledge

This research was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) British Council (The Newton Katip Celebi Fund Institutional Links, Turkey UK project: 120N995) and by the scientific research projects coordination unit of Izmir Katip Celebi University (project no: 2021-ÖDL-MÜMF-0006, & 2022-TYL-FEBE-0012).

References

- Akosman, Ş. A., Öktem, M., Moral, Ö. T., & Kılıç, V. (2021). Deep Learning-based Semantic Segmentation for Crack Detection on Marbles. 2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU),
- Amareesh, M., & Chitrakala, S. (2019). Video captioning using deep learning: an overview of methods, datasets and metrics. 2019 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP),
- Anderson, P., Fernando, B., Johnson, M., & Gould, S. (2016). Spice: Semantic propositional image caption evaluation. European Conference on Computer Vision (ECCV),
- Aydın, S., Çaylı, Ö., Kılıç, V., & Onan, A. (2022). Sequence-to-sequence video captioning with residual connected gated recurrent units. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(35), 380-386.
- Banerjee, S., & Lavie, A. (2005). METEOR: An automatic metric for MT evaluation with improved correlation with human judgments. ACL Workshop on Intrinsic and Extrinsic Evaluation Measures for Machine Translation and/or Summarization,
- Baraldi, L., Grana, C., & Cucchiara, R. (2017). Hierarchical boundary-aware neural encoder for video captioning. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR),
- Baran, M., Moral, Ö. T., & Kılıç, V. (2021). Akıllı telefonlar için birleştirme modeli tabanlı görüntü altyazılama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(26), 191-196.
- Chen, D., & Dolan, W. B. (2011). Collecting highly parallel data for paraphrase evaluation. Proceedings of the 49th annual meeting of the association for computational linguistics: human language technologies,
- Chollet, F. (2017). Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition,
- Çaylı, Ö., Kılıç, V., Onan, A., & Wang, W. (2022). Auxiliary classifier based residual rnn for image captioning. 2022 30th European Signal Processing Conference (EUSIPCO),
- Çaylı, Ö., Liu, X., Kılıç, V., & Wang, W. (2023). Knowledge Distillation for Efficient Audio-Visual Video Captioning. *arXiv preprint arXiv:2306.09947*.
- Çaylı, Ö., Makav, B., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). Mobile application based automatic caption generation for visually impaired. Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions: Proceedings of the INFUS 2020 Conference, Istanbul, Turkey, July 21-23, 2020,
- Doğan, V., Isık, T., Kılıç, V., & Horzum, N. (2022). A field-deployable water quality monitoring with machine learning-based smartphone colorimetry. *Analytical Methods*, 14(35), 3458-3466.
- Doğan, V., Evliya, M., Kahyaoglu, L. N., & Kılıç, V. (2024). On-site colorimetric food spoilage monitoring with smartphone embedded machine learning. *Talanta*, 266, 125021.
- Fetiler, B., Çaylı, Ö., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). Video captioning based on multi-layer gated recurrent unit for smartphones. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(32), 221-226.
- Gan, C., Yao, T., Yang, K., Yang, Y., & Mei, T. (2016). You lead, we exceed: Labor-free video concept learning by jointly exploiting web videos and images. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,
- Guadarrama, S., Krishnamoorthy, N., Malkarnenkar, G., Venugopalan, S., Mooney, R., Darrell, T., & Saenko, K. (2013). Youtube2text: Recognizing and describing arbitrary activities using semantic hierarchies and zero-shot recognition. Proceedings of the IEEE international conference on computer vision,
- Guo, Z., Gao, L., Song, J., Xu, X., Shao, J., & Shen, H. T. (2016). Attention-based LSTM with semantic consistency for videos captioning. Proceedings of the 24th ACM international conference on Multimedia,
- Keskin, R., Çaylı, Ö., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). A benchmark for feature-injection architectures in image captioning. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(31), 461-468.
- Keskin, R., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). Multi-gru based automated image captioning for smartphones. 2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU),
- Kılıç, M., Çaylı, Ö., & Kılıç, V. (2023). Fusion of High-Level Visual Attributes for Image Captioning. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(52), 161-168.
- Kılıç, V. (2021). Deep gated recurrent unit for smartphone-based image captioning. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 4(2), 181-191.
- Kılıç, V., Mercan, Ö. B., Tetik, M., Kap, Ö., & Horzum, N. (2022). Non-enzymatic colorimetric glucose detection based on Au/Ag nanoparticles using smartphone and machine learning. *Analytical Sciences*, 38(2), 347-358.
- Kılıç, V., Zhong, X., Barnard, M., Wang, W., & Kittler, J. (2014). Audio-visual tracking of a variable number of speakers with a random finite set approach. 17th International Conference on Information Fusion (FUSION),
- Koca, Ö. A., & Kılıç, V. (2023). Multi-Parametric Glucose Prediction Using Multi-Layer LSTM. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(52), 169-175.
- Koca, Ö. A., Türköz, A., & Kılıç, V. (2023). Tip 1 Diyabette Çok Katmanlı GRU Tabanlı Glikoz Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(52), 80-86.
- Lin, C.-Y. (2004). Rouge: A package for automatic evaluation of summaries. Text summarization branches out,

- Makav, B., & Kılıç, V. (2019). Smartphone-based image captioning for visually and hearing impaired. 2019 11th international conference on electrical and electronics engineering (ELECO),
- Mercan, Ö. B., Doğan, V., & Kılıç, V. (2020). Time Series Analysis based Machine Learning Classification for Blood Sugar Levels. 2020 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO),
- Mercan, Ö. B., & Kılıç, V. (2020). Deep learning based colorimetric classification of glucose with au-ag nanoparticles using smartphone. 2020 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO),
- Moral, Ö. T., Kılıç, V., Onan, A., & Wang, W. (2022). Automated Image Captioning with Multi-layer Gated Recurrent Unit. 2022 30th European Signal Processing Conference (EUSIPCO),
- Palaz, Z., Doğan, V., & Kılıç, V. (2021). Smartphone-based Multi-parametric Glucose Prediction using Recurrent Neural Networks. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(32), 1168-1174.
- Pan, P., Xu, Z., Yang, Y., Wu, F., & Zhuang, Y. (2016a). Hierarchical recurrent neural encoder for video representation with application to captioning. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition,
- Pan, P., Xu, Z., Yang, Y., Wu, F., & Zhuang, Y. (2016b). Hierarchical recurrent neural encoder for video representation with application to captioning. Conference on computer vision and pattern recognition,
- Pan, Y., Mei, T., Yao, T., Li, H., & Rui, Y. (2016). Jointly modeling embedding and translation to bridge video and language. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR),
- Papineni, K., Roukos, S., Ward, T., & Zhu, W.-J. (2002). Bleu: a method for automatic evaluation of machine translation. Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL),
- Rohrbach, A., Rohrbach, M., Tandon, N., & Schiele, B. (2015). A dataset for movie description. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition,
- Sayracı, B., Ağralı, M., & Kılıç, V. (2023). Artificial Intelligence Based Instance-Aware Semantic Lobe Segmentation on Chest Computed Tomography Images. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(46), 109-115.
- Shen, F., Shen, C., Shi, Q., Van Den Hengel, A., & Tang, Z. (2013). Inductive hashing on manifolds. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition,
- Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., & Wojna, Z. (2016). Rethinking the inception architecture for computer vision. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition,
- Targ, S., Almeida, D., & Lyman, K. (2016). Resnet in resnet: Generalizing residual architectures. *arXiv preprint arXiv:1603.08029*.
- Torabi, A., Pal, C., Larochelle, H., & Courville, A. (2015). Using descriptive video services to create a large data source for video annotation research. *arXiv preprint arXiv:1503.01070*.
- Uslu, B., Çaylı, Ö., Kılıç, V., & Onan, A. (2022). Resnet based deep gated recurrent unit for image captioning on smartphone. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(35), 610-615.
- Vedantam, R., Lawrence Zitnick, C., & Parikh, D. (2015). Cider: Consensus-based image description evaluation. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR),
- Venugopalan, S., Rohrbach, M., Donahue, J., Mooney, R., Darrell, T., & Saenko, K. (2015). Sequence to sequence-video to text. Proceedings of the IEEE international conference on computer vision,
- Venugopalan, S., Xu, H., Donahue, J., Rohrbach, M., Mooney, R., & Saenko, K. (2014). Translating videos to natural language using deep recurrent neural networks. *arXiv preprint arXiv:1412.4729*.
- Xu, J., Mei, T., Yao, T., & Rui, Y. (2016). Msr-vtt: A large video description dataset for bridging video and language. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition,
- Yao, L., Torabi, A., Cho, K., Ballas, N., Pal, C., Larochelle, H., & Courville, A. (2015). Describing videos by exploiting temporal structure. International Conference on Computer Vision (ICCV),
- Yu, H., Wang, J., Huang, Z., Yang, Y., & Xu, W. (2016). Video paragraph captioning using hierarchical recurrent neural networks. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR),



Stevia ile Tatlandırılmış Meyveli Dondurmanın Kalitesi*

Feray İnci Maden^{1†}, Salih Özdemir¹

¹ Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0009-0005-3949-9747), maden.feray@gmail.com

¹ Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9583-4379), ozdemirs@atauni.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 19 Ağustos 2023 ve Kabul Tarihi 23 Ekim 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10623787)

ATIF/REFERENCE: Maden, F. İ. & Özdemir, S. (2024). Stevia ile Tatlandırılmış Meyveli Dondurmanın Kalitesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (53), 64-70.

Öz

Bu çalışmada dondurma örneklerine sükröz yerine stevia ilavesi yapılarak şeker hastalarının tüketebileceği ayrıca diğer tüketicilerinde damak zevklerine hitap edebilecek meyveli ve sade dondurma üretimi yapılarak stevianın sükröz yerine tatlandırıcı olarak kullanılıp kullanılmayacağını tespit edilmesi amaçlanmıştır. Dondurma örnekleri 3 farklı meyve (kivi, greyfurt ve portakal) ve 2 farklı tatlandırıcı kaynağı kullanılarak üretilmiş olup 1 ve 15. günlük muhafaza sürelerinde analizlere tabi tutularak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Dondurma örneklerinin kuru madde oranı % 29,42 ile %34,32 arasında, kül oranı da %0,82 ile %1,55 arasında değişmiştir. Dondurma örneklerinin pH değeri 5,07 ile 6,45 arasında değişmiş ,meyve katılmış örneklerin pH değeri sade dondurma örneklerinden daha düşük bulunmuştur.15 günlük muhafaza periyodunda taze (1.gün) örneklere göre pH değeri azalırken % asitlik oranı artmıştır. Dondurma örneklerinin ilk damlama süresi 2,47 dakika ile 87,65 dakika arasında, tam erime süresi ise 34,18 dakika ile 75,20 dakika arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek L renk değeri sükrözlü sade ,en düşük L değeri ise, stevialı kivilik örneklerde saptanmıştır. Dondurma örneklerinde hacim artış oranı 14,82 ile%27,97 arasında değişmiştir. Stevia ile tatlandırılan dondurmalarda vizkozite değerleri sükröz katılmış örneklerden genellikle daha yüksek bulunmuş ve örneklerin muhafaza süresi arttıkça vizkozite değerleri de artmıştır. Panelistler genel kabul edilebilirlik ve lezzet açısından sükrözlü kivilik dondurma örneklerini en yüksek düzeyde beğenmişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Dondurma, Sükröz, Stevia, Kivi, Portakal, Greyfurt.

The Quality of Fruit Ice Cream Sweetened with Stevia

Abstract

In this study, it was aimed to determine whether stevia can be used as a sweetener instead of sucrose by producing fruit and plain ice cream that can be consumed by diabetics and appealing to the tastes of other consumers by adding stevia instead of sucrose to ice cream samples. Ice cream samples were produced using 3 different fruits (kiwi, grapefruit and orange) and 2 different sweetener sources(sucrose and stevia) and the results were evaluated by analyzing them at 1 and 15 days of storage. The dry matter ratio of ice cream samples varied between 29.42% and 34.32%, and the ash ratio varied between 0.82% and 1.55%. The pH value of the ice cream samples varied between 5.07 and 6.45, and the pH value of the samples was lower than the plain ice cream samples. During the 15-day storage period, the pH value decreased compared to the fresh (1st day) samples, while the acidity ratio increased. The first dripping time of ice cream samples varied between 2.47 minutes and 87.65 minutes, and the full melting time varied between 34.18 minutes and 75.20 minutes. The highest L* color value was found in plain sucrose samples and the lowest L* value in kiwi with stevia. The volume increase rate in ice cream samples varied between 14.82 and 27.97%. The viscosity values of the ice creams sweetened with stevia were generally higher than that of samples added sucrose, and the viscosity values of the samples increased as the storage time of the samples increased. As a result of sensory evaluation, plain sucrose ice cream samples were the most liked by the panelists in terms of color and appearance. The panelists liked the sucrose kiwi ice cream samples at the highest level in terms of overall acceptability and taste.

Keywords: Ice cream, Sucrose, Stevia, Kiwi, Orange, Grapefruit.

* Bu çalışma Feray İnci Maden'in Yüksek Lisans Tezinden alınmıştır.

† Sorumlu Yazar: maden.feray@gmail.com

1. Introduction

For the continuity of our health, we need to take adequate and regular nutrients. With the increasing importance given to human health, the interest of many people in functional foods is increasing (Turgut and Çakmakçı, 2009). Ice cream is a dairy product with a very complex structure, which is produced by freezing the mixture formed by adding milk, sugar, oil, salep, emulsifier and in some cases, color and flavoring substances (Karaman 2009). Ice cream is a food that appeals to the taste of consumers with its high nutritional value and variety of flavors. It is a dairy product that appeals to the senses of people with the color and aroma substances it contains and that people enjoy most when consuming. Ice cream containing ingredients is a food that human sense organs can enjoy at the highest level (Akin 2009). Since there is a very close relationship between human health and the foods consumed, research on these issues is increasing day by day.

Although there is no definite information about who and how ice cream was first produced, there is a lot of information about its making. It is said that the first production of ice cream was in Italy at the beginning of the 16th century, but according to some sources, ice cream began to be produced in England with the discovery of ice. In our country, ice cream was first produced in Istanbul and Kahramanmaraş in 1900. Today, the ice cream industry has become one of the areas in the food industry and dairy technology. The most important reason for the rapid development of ice cream production in our country is that the variety of raw materials is abundant and cheap (Dığrak et al., 2000).

The ice cream industry constitutes a large part of dairy technology in the USA and European countries. Ice cream production occurs mostly in the USA, where the annual consumption per capita reaches almost 25 liters. Ice cream production and consumption are increasing in our country and it is generally consumed more in hot seasons. In developed countries, ice cream is seen as a dessert with milk, and because it is consumed in all seasons, the amount of consumption reaches the desired level (Milci and Common 2003). Ice cream production for the whole world is a new concept compared to other dairy products and has progressed rapidly in a short period (Şahan and Kaçar 2004). Today, to meet the increasing demand, ice cream production has been produced in larger facilities by going beyond the traditional production methods, and as a result, it has become consumed all the time, not only in the summer season (Bostan and Akin 2002).

Fruit ice creams produced using various fruit and fruit sauces attract the attention and appreciation of consumers. There is a wide variety of flavored ice creams on the market today. Fruit ice creams are also one of the prominent groups. In ice creams to which hard-shelled fruits are added, the fruit ratio should constitute at least 5% of the ice cream weight. In fruit ice cream, the fruit ratio should be 15% of the total weight of the ice cream (Anonymous 2016). According to the Ice Cream Communiqué, fruit ice cream; is called the type of ice cream produced by adding fruit, fruit juice, fruit concentrate, fruit puree and fruit paste to the ice cream mixture (Anonymous 2005). Fruits, fruit purees, fruit juices, nuts, etc. are added to the ice cream during the making of ice cream. increases the nutritional value of ice cream even more (Badem 2006).

Today, people are turning to sweeteners that are more natural for our health. Stevia is also an important sweetener, especially for diabetic patients, and studies on stevia are increasing day by day. Various studies conducted today have proven that stevia does not have any carcinogenic effect (Lemus-Mondaca et al. 2012). Özdemir et al. (2015) used stevia as a sweetener in making plain ice cream and found that the viscosity (7.25Pa.s) of the samples with stevia was lower than the samples with the addition of sucrose (13.95Pa.s). In addition, the researchers determined the initial melting time of the samples between 1400s and 3460s, the final melting time between 8700s and 9440s, the pH level between 6.50 and 6.62, the dry matter ratio between 30.77% and 35.39%, and the volume increase rate of 8%. They found it between 54 and 10.17%. The researchers found that the dry matter and volume increase rates of the plain samples added to stevia were lower than the samples added to the sucrose, but the initial dripping and final melting times were longer.

To worldwide interest in the stevia plant, which is in the group of plants with high economic value, the production of the plant in Turkey

2. Material and Method

2.1. Material

Full-fat cow's milk, salep, emulsifier, cream, granulated sugar, powdered stevia and powdered milk, and fruits (kiwi, grapefruit, orange) used in the production of ice cream samples, whose composition and sensory properties are suitable, were obtained from the Erzurum market. Ice cream production was carried out in the laboratory of Atatürk University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering.

2.1.1. Methods

2.1.1.1. Production of Ice Cream Samples

Plain ice cream mixes were prepared by adding 100 g skimmed milk powder, 50 g cream (50% fat), 10 g salep, 5 g emulsifier and 200 g sucrose or 5 g stevia to 1 liter of full-fat cow's milk (3.1%). In addition, 8 plain and fruit ice cream mixes were prepared by adding 200g fruit pulp (kiwi, orange and grapefruit) to the mixes with the same composition at 30°C after pasteurization. The mixes

were matured in the refrigerator for 12 hours. It was then converted into ice cream in an ice cream machine and stored in a deep freezer at -18 °C. This experiment was repeated 2 times.

2.1.1.2.Sampling and Preparation of Samples for Analysis

On the 1st and 15th days of the storage period, one glass jar was opened and samples were taken from each type of ice cream stored in glass jars in the deep freezer. One day after the production, 8 packages were opened for each parallel for the physical and chemical properties of the ice creams kept in the deep freezer. For sensory evaluations, 5 ice cream samples from each type of ice cream, which were kept in the deep freezer in plastic containers, were used separately.

2.1.1.3.Physical and Chemical Analysis

The pH values of the mixtures of ice cream samples were determined at 20±1°C with a pH meter (Thermo Scientific Orion 4-Star Benchtop pH/Conductivity Meters brand) adjusted with the help of buffer solutions (pH 4.0 or 7.0). (Öner and Aloğlu 2018). The titration acidity value was made according to the alkali titration method in milk and ice cream, and the data was written by converting it to SH (Soxhlet Henkel) (Anonymous 1983). In the dry matter analysis, approximately 10 grams of samples were weighed precisely into the previously cleaned, dried and tared dry matter containers and left to cool after drying in an oven at 100±5°C for 3 hours. When the samples reached a constant weight, the drying process was terminated (Kurt et al. 2012). Porcelain crucibles were placed in a muffle furnace at 550°C for the determination of ash content in ice cream samples. The crucibles were taken to the desiccator after 6 hours of burning, and after cooling, they were weighed and put back into the muffle furnace. The process was terminated as soon as the last weighing of the crucible and the previous weighing were equalized. (Kurt et al. 2012).

In the determination of volume increase, ice cream was filled up to a certain volume in a measured cylinder, the tare of which was determined, and weighed. The same ice cream sample was placed in a beaker and melted in a water bath. The melted mixture was transferred to the same volume in the cleaned measuring cylinder and weighed again (Jimenez-Florez et al. 1993). The volume increase rates were determined according to the formula below. $\text{Volume increase rate (\%)} = [(\text{Volume of Ice Cream} - \text{Volume of Melted Ice Cream}) / \text{Volume of Melted Ice Cream}] \times 100$. In determining the first dripping time, 10 g of ice cream sample was placed in a wire strainer on tared containers and left to melt at 24°C. The time during which the ice creams begin to melt and the first drops fall has been determined (Cotrell et al. 1979). In determining the full melting time, the hardened ice cream samples were left to melt on a 0.2 cm wire mesh screen on top of a beaker at 20°C and the time (min) after the ice creams were completely melted ratio was recorded (Güven and Karaca 2002). The viscosity of samples was determined using a digital Brookfield viscometer (Model DV-II) after keeping the ice cream mixture at 4°C for 24 hours (Brookfield Engineering Laboratories, USA) (Soukoulis et al. 2014). Head no 6 was used for viscosity measurements and measurements were carried out at 20 and 50 rpm shear speeds. Hunter color values (L, a* and b*) were determined by measuring from the surface using a color measuring device. Before making color readings, it was calibrated with the standard calibration plate of the device (L*= 97.79, a*= -0.44 and b*= +2.04) (Mc Guire 1992).

2.1.1.4.Sensory Analysis

Ice cream samples were evaluated by 5 trained panelists. Ice cream samples were presented to the panelists at approximately - 10 degrees. Sensory evaluations were made over 9 points (Bodyfelt et al. 1988).

2.1.1.5.Statistical Analysis

The research was established and carried out according to the Full Chance Experimental Plan in factorial arrangement (8×2) with 8 different fruit, sucrose and stevia ratios and 2 replications in 2 different storage periods. The obtained data were subjected to variance analysis using the SPSS 20 package program (SPSS 20 for Windows, SPSS Inc., USA) and the average values of the major sources of variation were analyzed with the Duncan multiple comparison test.

Table 1. Some analysis results of milk, cream, milk powder and fruits used in making ice cream samples

| Analysis | Milk | Cream | Dry Milk | Kiwi | Orange | Grapefruit |
|----------------|-------|-------|----------|-------|--------|------------|
| pH | 6.63 | 6.72 | - | 3.27 | 3.48 | 3.38 |
| Acidity (SH) | 6.73 | 20.93 | - | | | |
| Dry Matter (%) | 12.78 | 64.70 | 96.00 | 16.38 | 12.58 | 12.04 |
| Fat (%) | 3.1 | 62.36 | 1.34 | - | - | - |

Table 2. Physical and chemical analysis averages of ice cream samples and Duncan test results

| Ice Cream Samples | DM(%) | Ash (%) | pH | Acidity(SH) | First Drip. Time (min.) | Full Melt Time(min.) | Owerrune (%) |
|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|
| Sucrose plain | 33.30 ^c | 0.95 ^c | 6.24 ^d | 10.38 ^a | 16.33 ^c | 36.12 ^a | 27.97 ^c |
| Stevia Plain | 30.82 ^{ab} | 1.64 ^g | 6.41 ^e | 13.98 ^b | 84.65 ^e | 180.37 ^d | 16.70 ^{ab} |
| Sucrose orange | 31.80 ^b | 1.04 ^d | 5.43 ^b | 21.97 ^d | 6.40 ^b | 34.18 ^a | 19.72 ^b |
| Stevia orange | 29.77 ^a | 0.66 ^a | 5.80 ^d | 15.58 ^b | 2.47 ^a | 75.20 ^c | 16.99 ^{ab} |
| Sucrose kiwi | 30.20 ^a | 0.84 ^b | 5.63 ^c | 20.97 ^{cd} | 7.84 ^b | 74.20 ^c | 14.82 ^a |
| Stevia kiwi | 34.12 ^c | 1.55 ^e | 5.54 ^c | 25.66 ^e | 6.03 ^b | 73.76 ^c | 16.47 ^{ab} |
| Sucrose Grapefruit | 34.32 ^c | 1.35 ^f | 5.36 ^b | 19.57 ^{cd} | 15.32 ^c | 74.32 ^c | 17.99 ^{ab} |
| Stevia Grapefruit | 29.42 ^a | 0.82 ^b | 5.07 ^a | 15.58 ^b | 21.01 ^d | 43.62 ^b | 15.35 ^b |

Table 3. Viscosity and color measurement averages of ice cream samples and Duncan multiple comparison test results

| Ice Cream Samples | Color (L*) | Color (a*) | Color (b*) | Viscosity 20 rpm | Viscosity 50 rpm |
|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Sucrose Plain | 91.90 ^c | -3.58 ^a | 11.43 ^a | 4873.75 ^c | 5257.25 ^d |
| Stevia Plain | 84.48 ^{bc} | -3.15 ^a | 14.97 ^{ab} | 9091.50 ^d | 6494.00 ^g |
| Sucrose orange | 85.61 ^{bc} | -3.47 ^a | 20.61 ^c | 3315.75 ^a | 2210.75 ^a |
| Stevia orange | 86.98 ^{bc} | -3.24 ^a | 15.06 ^{ab} | 3771.25 ^b | 2940.00 ^b |
| Sucrose Kiwi | 83.92 ^{bc} | -4.66 ^a | 12.82 ^a | 8970.25 ^d | 4314.50 ^c |
| Stevia Kiwi | 71.36 ^a | -2.69 ^a | 18.26 ^{bc} | 12211.50 ^e | 5282.25 ^d |
| Sucrose Grapefruit | 85.55 ^{bc} | -2.54 ^b | 12.45 ^a | 10543.50 ^d | 5477.00 ^e |
| Stevia Grapefruit | 82.79 ^b | -5.92 ^c | 10.36 ^a | 11961.25 ^e | 5990.25 ^f |

Table 4. Sensory Analysis Means of Ice Cream Samples and Duncan Multiple Comparison Test Results

| Ice Cream Samples | Color and Appearance | Texture | Gummy | Flavor | Degree of Sweetness | General Admissibility |
|--------------------|----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|
| Sucrose Plain | 8.10 ^c | 6.80 ^b | 6.30 ^b | 6.60 ^c | 5.90 ^c | 6.70 ^a |
| Stevia Plain | 6.70 ^a | 7.20 ^b | 6.60 ^b | 6.60 ^c | 8.20 ^e | 6.80 ^a |
| Sucrose Orange | 6.80 ^a | 7.50 ^{cd} | 6.50 ^b | 7.40 ^d | 7.70 ^e | 7.60 ^b |
| Stevial Orange | 6.60 ^a | 6.70 ^b | 5.20 ^a | 5.40 ^b | 6.30 ^{cd} | 6.40 ^a |
| Sucrose Kiwi | 7.60 ^b | 7.60 ^{cd} | 6.60 ^b | 8.30 ^e | 7.70 ^e | 7.80 ^b |
| Stevia Kiwi | 6.60 ^a | 5.20 ^a | 5.30 ^a | 5.60 ^b | 6.80 ^d | 6.40 ^a |
| Sucrose Grapefruit | 6.90 ^a | 7.80 ^e | 6.30 ^b | 6.40 ^c | 5.20 ^b | 6.80 ^a |
| Stevia Grapefruit | 7.70 ^{bc} | 6.70 ^b | 6.20 ^b | 4.30 ^a | 4.40 ^a | 6.80 ^a |

3. Conclusion and Discussion

As a result of the analysis of variance on the dry matter and ash ratios of the ice cream samples, the difference between the samples was found to be significant at the $p < 0.01$ level. According to the Duncan multiple comparison test results, the ice cream sample with the lowest dry matter ratio was grapefruit with stevia, while the highest dry matter ratio was found in the ice cream sample with added stevia kiwi, and sucrose grapefruit. An example of ice cream is grapefruit with sucrose. Özcan and Kurdal (1997), in their study on cherry, strawberry and lemon ice cream in Bursa, concluded that fruit type and amount changed the dry matter ratio. These results show a parallel with our study. Ozdemir (2023) found the dry matter ratio between 29.82% and 33.13% and the ash ratio between 0.72% and 0.97% in their study by adding oleogel and different emulsifiers. According to the Duncan multiple

comparison test results, the ice cream sample with the lowest ash content was the orange sample with stevia, while the ice cream sample with the highest ash content was the plain ice cream sample with stevia. The reason why the ash ratio is high in sucrose ice cream samples can be thought of as the fact that the sucrose we use is refined and the stevia we use contains mineral substances. Açı (2014) determined that the ash ratios of ice cream samples with improved functional properties were between 1.13% and 1.26%. Yeşilsu (2010) reported that the amount of ash in the trial samples could be between 0.76% and 1.02%. Our findings are generally similar to the results determined in this study.

As a result of the variance analysis of the pH values of the ice cream samples, the difference between the samples was found to be significant at the $p<0.01$ level. The difference between storage times was found to be significant at the $p<0.01$ level. As a result of Duncan's multiple comparison test, the lowest pH value was determined in the grapefruit ice cream samples with stevia, and the highest pH value was determined in plain ice cream with stevia. As a result of the Duncan test regarding the storage times; It was determined that the pH values of the ice cream samples decreased with the increase of storage time. This is due to the high acidity value of the fruits we use. Turgut (2006), in his study on probiotic and cream-enriched ice creams at different rates, stated that the pH values of the mixes varied between 5.71 and 6.30. Küçükçetin et al. (2009) found pH values in the range of 5.51-7.16 in a study on probiotic ice cream. These results show parallelism with the findings obtained in this study. It has been reported that the pH change in fruit-added ice creams may be caused by processes such as the acidity of the fruit, the interactions between polyphenols and milk proteins, and pasteurization applied to milk (Sun-Waterhouse et al. 2013). It was found significant at the 01 level. While the titration acidity value of the grapefruit and orange ice cream samples with stevia added was lower than the samples with the addition of sucrose, the addition of stevia increased the acidity value in the other samples. As a result of Duncan's multiple comparison tests, the lowest titration acidity value was observed in sucrose plain ice cream samples, and the highest titration acidity value was determined in kiwi fruit ice cream samples with stevia. In fruit ice creams, acidity; varies according to the amount of acid contained in the fruit varieties used in the production of the mix. The main factors affecting this are the maturity of the fruit used and the amount of fruit added to the mix. In the study conducted by Erkaya et al. (2012), it was determined that the acidity values of ice creams with golden strawberries added were between 9.72 to 14.66 SH and that SH values increased with the addition of fruit. The findings of Erkaya et al. (2012) showed parallelism with the results of this study. Yeşilsu (2010) found the acidity values of ice creams between 0.22% and 0.43% lactic acid in his study named the effect of some molasses varieties on the physical, chemical and sensory properties of ice cream. It was determined that these results were generally similar to the findings of our study.

As a result of the analysis of variance on the first dripping times of the ice cream samples, the difference between the samples was found to be significant at the $p<0.01$ level. The difference between storage times is insignificant ($p>0.05$). According to Duncan's multiple comparison test results, it was determined that the earliest dripping ice cream sample was orange with stevia, and the latest dripping was seen in plain stevia ice cream. Aslaner and Salık (2017) found the average first dripping time of ice cream samples to be 344 s (5.7 minutes). Aliyev (2006), in his study on kefir and blueberry ice creams, determined that the first dripping time was between 12.54-53.26 minutes. The results of these studies generally show parallelism with the findings of our study. As a result of the analysis of variance regarding the melting times of the ice cream samples, it was found to be significant at the $p<0.01$ level. The difference between storage times is insignificant ($p>0.05$). As a result of Duncan's multiple comparison test; The earliest full melting time was determined in the sucrose plain ice cream samples and the latest full melting time was determined in the stevia plain ice cream samples. With the addition of fruit in the stevia ice cream samples, it was observed that the full melting time was shortened compared to the plain stevia ice cream samples. Akın et al (2006), in their study on ice cream containing probiotic bacteria in free and encapsulated form, determined the full melting times between 1464 and 7600 s, respectively. These findings were in parallel with the results of this study. As a result of the variance analysis of the volume increase rates of the ice cream samples, the difference between the samples was determined to be significant at the $p<0.01$ level. The difference between storage times is insignificant ($p>0.05$). As a result of the Duncan multiple comparison test, the highest volume increase rate was observed in sucrose plain ice cream samples, and the lowest volume increase rate was determined in sucrose kiwi ice cream samples. Generally, the addition of stevia to ice creams significantly decreased the volume increase rate of the samples compared to the samples with sucrose. Tekinşen and Tekinşen (2008) stated that the volume increase in high-quality ice creams should generally be between 15% and 50%. Ice cream samples obtained in this study can be classified as quality ice cream in terms of volume increase rates.

According to the variance analysis results, it was determined that all three color values of the ice cream samples were statistically significant at the $p<0.01$ level. The difference between the storage times is insignificant ($p>0.05$). As can be seen from the Duncan multiple comparison test result (Table 3), the highest L^* value was determined in sucrose plain ice cream samples, and the lowest L^* value was determined in kiwi ice cream samples with stevia. In ice creams, this value was found to be lower due to the different colors of the fruits. On the Hunter color scale, positive (+) values of a^* color value indicate redness, and negative (-) values indicate green. The positive (+) values of the b^* color value indicate yellowness and the negative (-) values indicate blue (Üren 1999). According to Duncan's multiple comparison test results, the highest a^* value was determined in grapefruit ice cream samples with stevia, and the lowest a^* value was determined in sucrose grapefruit ice cream samples. The highest b^* value was determined in sucrose orange ice cream samples and the lowest b^* value was determined in grapefruit ice cream samples with stevia. Since no blue fruit was used in our ice cream samples, b^* values were positive (+). The a^* value of ice cream samples with grapefruit is also positive (+), indicating that the ice cream is red due to the color of the grapefruit. In the kiwi ice cream samples, the negative (-) color value of a^* shows the color of the ice cream as green due to the color of the kiwi fruit. Positive (+) values of b^* indicate yellowness and b^* (+) values were determined in orange ice cream samples due to the orange color of orange. As a result of the Duncan multiple comparison test, the lowest viscosity value was determined in sucrose orange ice cream samples at 20 and 50 rpm shear speed, and the highest viscosity value was determined in kiwi ice cream samples with stevia at 20 rpm. The highest viscosity value was determined in the sucrose plain ice cream mix samples at 50 rpm shear speed. More viscosity values were determined in the ice cream mix samples sweetened with stevia than in the samples with added sucrose. However, Ozdemir et al (2015) found that the addition of

stevia to ice cream samples decreased the viscosity compared to the addition of sucrose. Akın et al (2006), in their study on encapsulated ice cream, determined that the viscosity values of ice cream samples containing probiotic bacteria in free and encapsulated form varied in the range of 3960-42400 cP. These results generally show parallelism with the findings of our study.

As a result of Duncan's multiple comparison test, it was determined that the highest flavor score of ice cream samples was in sucrose kiwi ice cream samples and the lowest flavor score was found in grapefruit ice cream samples with stevia. In this study, it was determined that the flavor of ice creams sweetened with sucrose was generally more appreciated than ice creams sweetened with stevia. This situation was also detected in the study conducted by Özdemir et al. (2015). This is because stevia leaves a slightly bitter taste in the mouth (Alizadeh et al. 2014). As a result of Duncan's multiple comparison test, it was determined that the highest score in the general acceptability was obtained by the kiwi ice cream sample with sucrose, and the lowest score was obtained by the kiwi with stevia and orange ice cream with stevia. While it was seen that the general acceptability did not change in grapefruit ice creams, in other ice cream samples, the general acceptability of those with sucrose was higher than those with stevia (Table 3).

4. General Conclusion and Recommendations

This research, it was aimed to produce a healthy, delicious and functional product by using stevia instead of sucrose in ice cream production and to determine the sensory properties of the ice cream samples produced. A total of 8 ice cream samples were produced, including 1 plain with sucrose and 3 with sucrose (orange, kiwi, grapefruit), 1 plain with stevia and 3 with stevia (orange, kiwi, grapefruit) and stored for 15 days at -18°C. has been done. During storage, samples were analyzed on the 1st and 15th days. In the evaluation of the analysis results, the data from the sucrose ice cream samples were taken as a reference. In this study, it was observed that there was no ice cream sample rejected in general acceptability according to the sensory test result. It will be beneficial to carry out new studies and to produce functional ice creams by using stevia as a sweetener in ice creams produced using plain and various fruits.

References

- Açu M., 2014. Fonksiyonel Özellikleri Geliştirilmiş Dondurma Üretimi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Süt Teknolojisi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Akın N., 2009. Dondurma Bilimi ve Teknolojisi. Damla Ofset,437,Konya.
- Akın, M.B., Akın, M.S.,Özer, H.B., Kırmacı, H.A., 2006. Kapsüllenmiş ve serbest *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus rhamnosus*'ün dondurmada canlı kalma sürelerinin dondurmanın duyuusal özelliklerine etkisinin belirlenmesi. Tübitak Projesi Sonuç Raporu. Proje No: 105O033, Şanlıurfa, 61s.
- Aliyev, C., 2006. Kefir ve yaban mersininin dondurmanın fiziko kimyasal,duyuusal ve mikrobiyolojik özelliklerine etkisi.Yüksek Lisans Tezi,19 Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı,Samsun.69s
- Alizadeh M., Lalabadi MA, Kheirouvis S., 2014b. Şekerin yerine Stevia'nın meyve bazlı süt sallaanmasının fizikokimyasal ve duyuusal özellikleri üzerine etkisi. J Sci Res Rep 3 (11): 1421-1429.
- Anonim, 1983. Gıda Maddeleri ve Analiz Metotları. T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Gıda İşleri Genel Müdürlüğü. Genel Yayın, No: 65, 796s. Ankara.
- Anonim, 2016e. TGK Dondurma Tebliği (Tebliğ No: 2004/45) <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/01/20050113-13.htm> (02.01.2016). Anonim, 2005. Dondurma Tebliği (Tebliğ No: 2004/45).Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği. 13 Ocak 2005 tarih ve 25699 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Anonim, 2005. Dondurma Tebliği (Tebliğ No: 2004/45).Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği. 13 Ocak 2005 tarih ve 25699 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Aslaner, A., Salık, M.A., 2017. Ceviz ezmesi ve dut kurusu tozu ilavesiyle üretilen düşük kalorili dondurmanın bazı kalite niteliklerinin belirlenmesi. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg., 48 (1):57-64.
- Badem, A., 2006. Dondurma üretiminde kullanılan karragenan, ksantan ve keçiyoynuzlu zamkların dondurmaların kalite üzerine etkisi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Antalya,Türkiye, 73s.
- Bodyfelt, F.W., Tobias, J. and Trout, G.M., 1988. The Sensory Evaluation of Dairy Products. Van Nostrand Reinhold, 598 s., New York
- Bostan K., Akın B., 2002. Endüstriyel Dondurmaların Mikrobiyolojik Kalitesi Üzerine Bir Araştırma, Türk J. Vet. Anim. Sciences., (26), 623-629.
- Cotrell, J.I.L., Pass, G. and Philips, G.O., 1979. Assesment of polysaccharides as ice cream cream stabilizers.J.Sci.Food Agric.30:1085-1088.
- Dığrak M., Tanış H., Bağcı E., Kırbağ S. Kahramanmaraş'ta Tüketime Sunulan Dondurmalarda *Listeria*, *Salmonella*, *E. Colive K. Pneumoniae*' nin Araştırılması. Gıda, 2000, 25 (5), 349-353.
- Erkaya, T., Dağdemir, E., Şengül, M., 2012. Influence of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) addition on the chemical and sensory characteristics and mineral concentrations of ice cream. Food Research International, 45, 331-335.
- Güven, M. ve Karaca, OB., 2002. Değişen Şeker İçeriği ve Meyve Konsantrasyonunun Vanilya ve Meyveli Dondurma Tipi Dondurulmuş Yoğurtların Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkileri. Uluslararası Süt Teknolojisi Dergisi, 55, 27-31.
- Jimenez-Florez R, Klipfel NJ, Tobias J., 1993. Dondurma ve dondurulmuş tatlılar. In: Hui YH (ed) Süt bilimi ve teknolojisi el kitabı. 2. Ürün imalatı. VCH Yayıncıları, New York, s 57.
- Karaman S., 2009. Çay veya bazı bitki çayları İle aromatize edilmiş dondurma üretim olanaklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Kurt A., Çakmakçı S., Çağlar A., 2012. Süt ve Mamülleri Muayene ve Analiz Metotları Rehberi , 10, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum.

- Küçükçetin, A., Milci, S., Demir, M., 2009. Farklı Yöntemler Kullanılarak Üretilen Probiyotik Dondurmaların Bazı Probiyotik Özellikleri ve Kalite Karakteristiklerinin Belirlenmesi, TÜBİTAK Proje No:107 O 438, 148 s.
- Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L., Ah-Hen, K., 2012. Stevia rebaudiana Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: a comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. Food Chem., 132: 1121–1132.
- Mc Guire, R.G., 1992. Reporting of objective color measurements. Hortscience, 27 (12), 1254-1255
- Milci, S. ve Yaygın, H., 2003. Üretimden tüketime dondurmada kritik kontrol noktalarında tehlike analizi uygulamaları. Süt Endüstrisinde Yeni Eğilimler Sempozyumu. 22-23 Mayıs 2003, İzmir, 239-24.
- Öner, Z., and H. Şanlıdere-Aloğlu. "Süt ve Süt Ürünleri Analiz Yöntemleri. Sidas Medya Ltd. Şti., Çankaya, İzmir." (2018).
- Özdemir ,C.2023 An Investigation of Several Physicochemical Characteristics, as well as the Cholesterol and Fatty Acid Profile of Ice Cream Samples Containing Oleogel, Various Stabilizers, and Emulsifiers.Gels 9 (7), 543; <https://doi.org/10.3390/gels9070543>.
- Özcan, T., Kurdal, E., 1997. Bursa il merkezinde satılan meyveli dondurmaların kimyasal ve mikrobiyolojik nitelikleri üzerine araştırma.Gıda, 22 (3), 217-225.
- Özdemir, C., Arslaner, A., Özdemir, S., Allahyari, M., 2015. The production of ice cream using stevia as a sweetener. Journal of Food Sci Technol, 52 (11):7545- 7548.
- Sun-Waterhouse, D. Edmonds, L. Wadhwa, S.S. Wibisono, R., 2013. Producing ice cream using a substantial amount of juice from kiwifruit with green, gold or red flesh. Food Res. Int., 50:647–656.
- Şahan, N., ve Kaçar, A., 2004. Farklı Yağ Oranları ve Tatlandırıcı Kombinasyonlarının Enerjisi Azaltılmış Dondurmaların Fiziksel ve Duyusal Özelliklerine Etkileri. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2004, 8 (1):1-6.
- Tekinşen , C., Tekinşen, K.K., 2008. Dondurma. 1. Baskı.Selçuk Üniversitesi Basımevi, Konya.
- Turgut, T., 2006. Bazı Probiyotik Bakterilerin Dondurma Üretiminde Kullanım İmkanları, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 168s.
- Turgut, T., Çakmakçı, S., 2009. Investigation of the possible use of probiotics in ice cream manufacture. International Journal of Dairy Technology, 62 (3), 444-451.
- Üren, A., 1999. Üç boyutlu renk ölçme yöntemleri. Gıda, 24 (3): 193-200.
- Yeşilsu, A.F., Temiz, H. Effect of Pekmez. 2010. Addition on the Physical, Chemical and Sensory Properties of Ice Cream.Department of Food Engineering, Ondokuz Mayıs University, Samsun.



Gezgin Hırsız Problemi için Matematiksel Model ve Genetik Algoritma

Kübra Yıldırım^{1*}, Muzaffer Kapanoğlu²

^{1*} Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1022-0416)
kubrayildirim892@gmail.com

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8217-7517)
mkanoglu@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 25 Aralık 2022 ve Kabul Tarihi 17 Aralık 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10623816)

ATIF/REFERENCE: Yıldırım, K. & Kapanoğlu, M. (2024). Gezgin Hırsız Problemi için Matematiksel Model ve Genetik Algoritma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (53), 71-83.

Öz

Bu makalede, iyi bilinen iki kombinatoriyal optimizasyon problemi, yani Gezgin Satıcı Problemi (GSP) ve Sırt Çantası Probleminin (SÇP) birleşimi olan Gezgin Hırsız Problemi (GHP) ele alınmıştır. Bu tür çok bileşenli optimizasyon problemlerinin çözülmesi sadece içerdiği katı optimizasyon problemleri nedeniyle değil, özellikle farklı bileşenler arasındaki karşılıklı bağımlılıklar nedeniyle de zordur. Bu problemin amacı, bir hırsızın tüm şehirleri ziyaret ettiği ve maksimum faydayı elde etmek için hangi şehirden hangi eşyanın alınması gerektiğini belirleyen bir toplama planını oluşturmaktır. Ele alınan problem için matematiksel model geliştirilmiş ve büyük boyutlu problemlerin önerilen matematiksel model ile çözülememesi nedeniyle iki farklı genetik algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmaların performansları farklı özelliklerdeki test problemleri kullanılarak test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gezgin Hırsız Problemi, Gezgin Satıcı Problemi, Sırt Çantası Problemi, Genetik Algoritma

Mathematical Model and Genetic Algorithm for the Traveling Thief Problem

Abstract

In this article, two well-known combinatorial optimization problems are discussed, namely the Traveling Thief Problem (TTP), which is a combination of the Traveling Salesman Problem (TSP) and the Knapsack Problem (KP). Deciphering such multicomponent optimization problems is difficult not only because of the strict optimization problems involved, but also because of the interdependencies between the different components in particular. The purpose of this problem is to form a collection plan, according to which a thief visits all cities and determines which items should be taken from which city in order to get the maximum benefit. A mathematical model has been developed for the problem under consideration, and two different genetic algorithms have been developed because large-sized problems cannot be solved with the proposed mathematical model. The performances of the developed algorithms were tested using test problems of different properties.

Keywords: The Traveling Thief Problem, The Traveling Salesman Problem, The Knapsack Problem, Genetic Algorithm.

* Sorumlu Yazar: kubrayildirim892@gmail.com

1. Giriş

Gerçek dünya optimizasyon problemleri genellikle birbirleriyle etkileşim halinde olan birkaç NP-zor kombinatoriyal optimizasyon problemlerinden oluşur (Klamroth vd., 2017; Bonyadi vd., 2019). Bu tür sorunları çözebilmek için bu etkileşimleri anlamak ve bunlarla başa çıkmak önemlidir. Yalnızca içerdikleri zor optimizasyon problemleri nedeniyle değil özellikle farklı bileşenler arasındaki karşılıklı bağımlıklar nedeniyle de zordur. Michalewicz'de (2012) belirtildiği gibi, gerçek dünya problemlerinin ana karmaşıklıklarından biri, birçok geleneksel yaklaşımı etkisiz hale getiren alt problemler arasındaki karşılıklı bağımlılıktır. Sonuç olarak global bir optimum veya yüksek kaliteli bir çözüm elde etmek için alt problemlerin yüksek kaliteli kısmi çözümlerinin probleme nasıl entegre edileceği hala açık bir sorundur.

Son yıllarda literatürde dikkat çeken çok bileşenli kombinatoriyal optimizasyon problemlerinden biri de gezgin hırsız problemidir (Bonyadi vd., 2013). Gezgin Hırsız Problemi (GHP), iyi bilinen iki kombinatoriyal optimizasyon problemi, yani Gezgin Satıcı Problemi ve Sırt Çantası Problemi içermekle beraber yeni gerçek hayat problemlerini modelleme potansiyeli olan kombinatoriyal bir özelliğe sahiptir. Kısaca, GHP, çeşitli düğümlerden kendine özgü ağırlıkları ve kazançları olan eşyaları çalan bir hırsızın uygulayacağı stratejiye öykünmektedir. Hırsız, tüm şehirleri bir kez ziyaret etmeli ve toplam karı en üst düzeye çıkaracak şekilde öğeleri toplamalıdır. Hırsız, tüm düğümleri bir kez ziyaret etmeli ve toplam karı en üst düzeye çıkaracak şekilde öğeleri toplamalıdır. Hırsız, sınırlı kapasiteli bir sırt çantası kullanır ve bunun için toplam seyahat süresiyle orantılı olarak kira öder. İki alt bileşeni (GSP ve SÇP) doğrusal olmayan bir şekilde birbirine bağlayan, hırsızın hızının o ana kadar toplanan öğelerin ağırlığı ile ters orantılı olmasıdır. Ayrıca, başlangıç şehrine atanan öge bulunmamaktadır.

Bu araştırma, gerçek dünya problemlerinin farklı bir problemle birbirine bağlanarak modellendiği bilinenlerden daha karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için bir matematiksel model ve iki genetik algoritma önermektedir. Yüksek düzeyde karmaşıklık içeren GHP tarzı problemler, aynı zamanda modern optimizasyon yöntemlerinin performanslarının analizinde de kıyaslama setlerinde kullanılmaktadır. Algoritmik güçlüklerin başında, GSP veya SÇP için iyi olan bir çözümün diğeri için kötü olması yatmaktadır. Küçük boyutlu problemler kabul edilebilir bir sürede çözülebilmekle beraber büyük örneklerin yaklaşık en iyi çözümlerini dahi beklemek teorik ve pratik açıdan anlamlı değildir. Problem için test örnekleri temel olarak GSP'ine ait parametreleri içerir ve bu parametreler sırt çantası parametreleriyle daha da şekillenir. Problemin GSP alt problemi için TSPLIB kütüphanesi kullanılır (Reinelt, 1991).

2. Materyal ve Metot

Gezgin Hırsız Problemi, NP-zor sınıfında yer almakta olup bu tip problemler çözüm zamanı problemin büyüklüğüne bağlı olarak üstel artış gösteren ya da bilinen eniyileme metotlarıyla çözülemeyen problemler olarak bilinir. Bu çalışmada, incelenen problemin çözümü için yapay zekâ tekniklerinden biri olan genetik algoritma geliştirilmiştir. Büyük boyutlu problemlere çözüm bulunabilmesi ve iyi çözümlere daha hızlı sürede ulaşmak için geliştirilen iki farklı genetik algoritma ve matematiksel model izleyen alt başlıklarda açıklanmıştır.

2.1. Matematiksel Model

Gezgin Hırsız Problemi şu şekilde tanımlanır. m adet öge kümesi $\{1,2, \dots, m\}$, n adet düğüm kümesi $\{1,2, \dots, n\}$ arasında dağıtılır. d_{ij} , herhangi bir düğüm çiftinin $i, j \in \{1,2, \dots, n\}$ arasındaki mesafeyi verir. Her bir $k \in m$ ögesinin değeri p_k , ağırlığı w_k ve bulunduğu şehri A_i vardır. Örneğin, $A_i = \{1,2,5\}$, i ögesinin yalnızca şehir 1, 2 veya 5'ten seçilebileceğini ifade eder. Hırsız, kiraladığı çantası ile ilk şehirden başlayarak tüm şehirleri bir kez ziyaret etmek ve başlangıç düğüme geri dönmek şartıyla çantasının kapasitesini W aşmayacak şekilde şehirlerden öğeleri toplayabilir. Çalınan eşyalar sırt çantasında depolandıkça ağırlaşır ve hırsız sırt çantasının ağırlığı ile ters orantılı bir şekilde yavaş hareket eder. Hırsız $v = v_{max} - W_c * (v_{max} - v_{min})/W$ hızıyla hareket eder, burada W_c hırsızın anlık ağırlığını göstermektedir. Sırt çantasının boş olması durumunda hırsız maksimum hızda v_{max} hareket ederken, sırt çantasının tamamının dolu olması durumunda ise minimum hızda v_{min} hareket eder. İki şehir arasındaki seyahat süresi formül (1) yoluyla hesaplanır, burada v_c hırsızın anlık hızını ifade etmektedir.

$$t_{ij} = \frac{d_{ij}}{v_c} \quad (1)$$

GHP amacı aşağıda verilen fonksiyonun enbüyüklemeektir:

$$G(x, z) = g(z) - R * f(x, z) \quad (2)$$

g toplanan öğelerin toplam değeri iken, R çantanın birim zaman başına kiralama ücreti ve f turun toplam zamanıdır. x ve z sırasıyla, tur ve toplama planıdır.

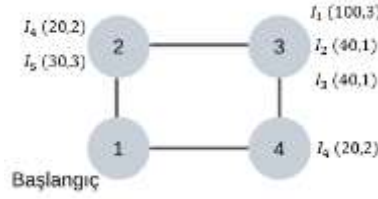
GHP'nin sayısal örneği, Şekil 1'de verilen grafik üzerinden gösterilecektir.

- $n = 4, m = 5, W = 3, v_{max} = 1$ ve $v_{min} = 0.1$

$$D = \begin{bmatrix} - & 5 & 6 & 6 \\ 5 & - & 5 & 6 \\ 6 & 5 & - & 4 \\ 6 & 6 & 4 & - \end{bmatrix}$$

- Her bir ögenin değeri ve ağırlığı: $I_i(p, w): I_1 = (100,3), I_2 = (40,1), I_3 = (40,1), I_4 = (20,2), I_5 = (30,3)$
- Her bir ögenin şehirlerdeki mevcudiyeti (A_i): $A_1 = \{3\}, A_2 = \{3\}, A_3 = \{3\}, A_4 = \{2,4\}, A_5 = \{2\}$
- Birim zaman başına çanta kiralama ücreti: $R = \$1$

$x = \{1,3,2,4\}$ düğümlerin ziyaret sırasını gösterirken $z = \{0,3,0,2,0\}$ ise hangi ögenin hangi düğümden alındığını göstermektedir. Bu örnek için I_2 3 numaralı şehirden alınırken, I_4 2 numaralı düğümden alınmıştır.



Şekil 1. TTP için örnek problem (Figure 1. Example problem for TTP)

Örnek problemin amaç fonksiyon değerini (2) hesaplayalım. Hırsız aralarındaki mesafenin 6 olduğu düğüm 1'den düğüm 3'e hareket ediyor. Çantanın anlık ağırlığı (W_c) 0 olduğundan hırsızın hızı $v = v_{max} = 1$ ve iki düğüm arasındaki birim zaman $t_{1,3} = 6$ olarak hesaplanır. Düğüm 3'te öge I_2 çantaya atılır ve anlık ağırlığı $W_c = 1$ olarak değişir. Böylece $v_c = 0.7$ ve $t_{3,2} = 7.14$ elde edilir. Düğüm 2'den hırsız öge I_4 çalar ve çantanın anlık ağırlığı $W_c = 3$ olur. Bunun sonucunda hırsızın hızı $v = v_{min} = 0.1$ değerine ulaşır. Hırsız düğüm 4'te bu hız değeri ile hareket eder ve ulaşması $t_{2,4} = 60$ birim zamanını alır. Ve en sonunda hırsız düğüm 4'ten düğüm 1'e $v_c = 0.1$ hızı ile geri döner ve bu dönüşünü $t_{4,1} = 60$ birim zamanda yapar. Hepsini bir araya getirirsek, turun tamamlanma süresi $f(x, z) = 60 + 60 + 7.14 + 6 = 133.14$ ve çantanın toplam değeri $g(z) = 40 + 20 = 60$ olarak hesaplanır. Böylece amaç fonksiyonunun değeri $60 - 1 * 133.14 = -73.14$ olacak şekilde elde edilir.

Problemin matematiksel modeli aşağıda verilmiştir:

$$Enb z \quad \sum_k \sum_j p_k * z_{kj} - R * SURE \quad (1)$$

$$\sum_{i=1, i \neq j}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \quad (2)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{1j} = 1 \quad (3)$$

$$u_i - u_j + n * x_{ij} \leq n - 1 \quad 1 < i \neq j \leq n \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} - \sum_{i=1}^n x_{ji} = 0 \quad \forall j \quad (5)$$

$$z_{kj} = 0 \quad \forall k, j | A_{kj} = 0 \quad (6)$$

$$\sum_j^n A_{kj} * z_{kj} \leq 1 \quad \forall k \quad (7)$$

$$\sum_k^m \sum_j^n w_k * z_{kj} \leq Q \quad (8)$$

$$wc_j \geq \sum_k^m w_k * z_{ki} + wc_i + M * (x_{ij} - 1) \quad \forall i, j | i > 1, i \neq j \quad (9)$$

$$wc_j \geq \sum_k^m w_k * z_{ki} + M * (x_{ij} - 1) \quad \forall i, j | i = 1, i \neq j \quad (10)$$

$$S_{ij} = \frac{d_{ij} * x_{ij}}{v_{max} - wc_j \frac{v_{max} - v_{min}}{Q}} \quad \forall i, j \quad (11)$$

$$SURE = \sum_i^n \sum_j^n S_{ij} \quad (12)$$

Kısıt (1) problemin amaç fonksiyonunu göstermektedir. Kısıt (2) her bir düğümün ziyaret edilmesini, kısıt (3) başlangıç düğümden hırsızın çıkmasını garanti etmektedir. Kısıt (4) tüm düğümleri kapsayan tek bir turun olmasını zorunlu kılarak alt tur oluşmasını engeller. Kısıt (5) bir düğüme giriş yapıldığında, giriş yapılan aynı düğümü terk etmesi sağlanmaktadır. Kısıt (6) öğelerin bulunmadıkları düğümlerden alınmalarını engellerken kısıt (7) her bir ögenin mevcut düğümler arasından en fazla bir kez seçilmesini garantilemektedir. Kısıt (8) toplanan öğelerin toplam ağırlığının sırt çantasının kapasitesini aşamayacağını ifade eder. Kısıt (9)-(10) planlanan düğümü

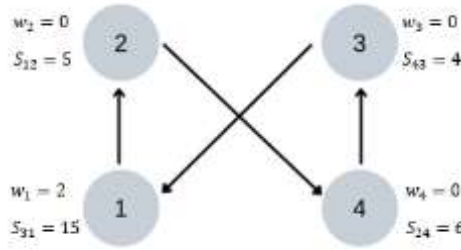
ziyaret etmeye giderken çantanın anlık ağırlığını belirlemektedir. Kısıt (11) ziyaret edilen iki düğüm arasındaki geçiş süresini hesaplar, kısıt (12) turun toplam süresini hesaplamaktadır.

Problemin çözümünde kullanılan matematiksel modelin tutarlılığı küçük bir problem üzerinde test edilmiştir. Küçük problem karma tamsayı ve doğrusal olmayan problem çözümünde kullanılan GAMS/DICOPT çözücüsü yardımıyla çözümlenmiştir. İlgili sonuçlar bir sonraki başlıkta yer verilmiştir.

2.1.1. Küçük Boyutlu Bir Örnek Problem

Önerilen matematiksel modelin çözüm performansını test etmek amacıyla problem GAMS programlama dilinde yazılmış ve Şekil 1’de bahsedilen örnek kullanılarak test edilmiştir. $x = \{1,2,4,3\}$ sıralaması ve $z = \{0,0,1,1,0\}$ toplama planı için optimum amaç değeri $G(x, z) = 50$ olarak bulunmuştur. Hırsızın anlık çanta ağırlıkları ve iki şehir arasında geçirdiği süre Şekil 2’de yer almaktadır.

Hırsız 2 ve 4 numaralı düğümlerden hiçbir eşya toplamaz. Bu sebeple bu turun maliyeti 15 olarak hesaplanır. Hırsız sadece üçüncü düğümden 2 ve 3 numaralı öğeleri alır, bu da 80 birim kar sağlar. Hırsız 3 numaralı düğümden 1 numaralı düğüme dönüş yolunda çantasının ağırlığı 2’dir. Hızını düşürdüğü için dönüş yolunun maliyeti 15 olarak hesaplanır. Sonuç olarak nihai amaç değeri $Z=80-15-15=50$ olarak hesaplanır. Tur ve toplama planı Tablo 1’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Gezgin Hırsızın Anlık Çanta Ağırlık ve Seyahat Süresi (Figure 2. The Traveler Thief's Instant Bag Weight and Travel)

Tablo 1. Ziyaret Edilen Düğümler ve Çantaya Eklenen Öğeler (Table 1. Visited Nodes and Items Added to the Bag)

| Sırayla Ziyaret Edilen Düğümler | İki Düğüm Arası Mesafe | Çantaya Eklenen Öğeler | Öğelerin Ağırlıkları | Süre | Birikimli Süre |
|---------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|------|----------------|
| 1 | - | - | - | 5 | 5 |
| 2 | 5 | - | - | 6 | 11 |
| 4 | 6 | - | - | 4 | 15 |
| 3 | 6 | 2-3 | 1-1 | 15 | 30 |

2.2. Önerilen Genetik

Algoritmalar

Ele alınan problem, NP-zor sınıfında olup, çözüm zamanı problemin büyüklüğüne bağlı olarak üstel artış gösterir. NP-zor problemler sınıfında yer alması nedeniyle büyük boyutlu problemlerin çözümü için bir genetik algoritma (GA) geliştirilmiştir.

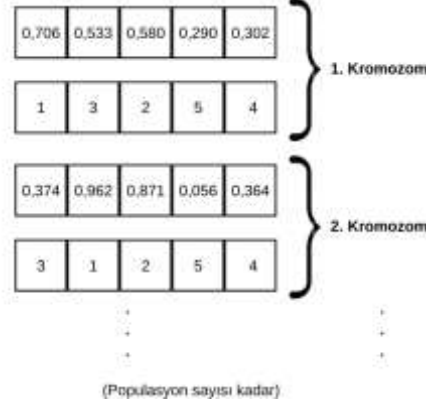
Genetik algoritmalar hem doğrudan problemi çözmek için hem de matematiksel modellerin tam sayılı çözümlerini bulmak için kullanılabilir. Bu çalışmada her iki yöntem de kullanılmıştır. GHP için geliştirilen iki farklı algoritmanın kromozom yapısı ve adımları izleyen başlıklarda ele alınmıştır. GHP-GA.1, genetik gösterimden yararlanan genetik algoritma iken, GHP-GA.2 önerilen matematiksel modeli çözen genetik algoritmayı ifade etmektedir.

2.2.1 Çanta Yönelimli Genetik Algoritma (GHP-GA.1)

Geliştirilen GA izleyen başlıklarda açıklanmıştır.

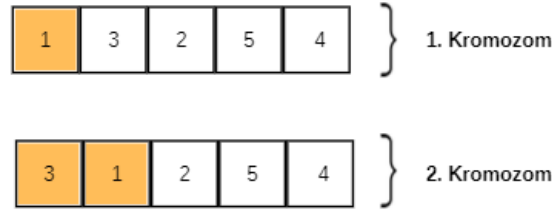
2.2.1.1 Kromozom Yapısı

Problemde seçilecek öge sayısının belirlenmesi için rassal anahtar yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile her bir gen için rassal sayı türetilmektedir. Çantanın kapasitesini aşmayacak şekilde seçilecek olan öğeler rassal sayıların büyüklükleri dikkate alınarak belirlenir. Önerilen GA'da kromozomların oluşmasında (0,1) arasında her bir öge için rassal sayı türetilir. Öge sayısının 5, şehir sayısının 4 olduğunu varsayalım. Şekil 3'te örnek bir kromozom verilmiştir. Bu kromozomda her bir gen için üretilen rassal sayılar büyükten küçüğe doğru sıralanır ve karşı gelen sıra numarası yazılır. Sıra numaraları öge numaraları ile eştir.



Şekil 3. Kromozom Yapısı (Figure 3. Chromosome Structure)

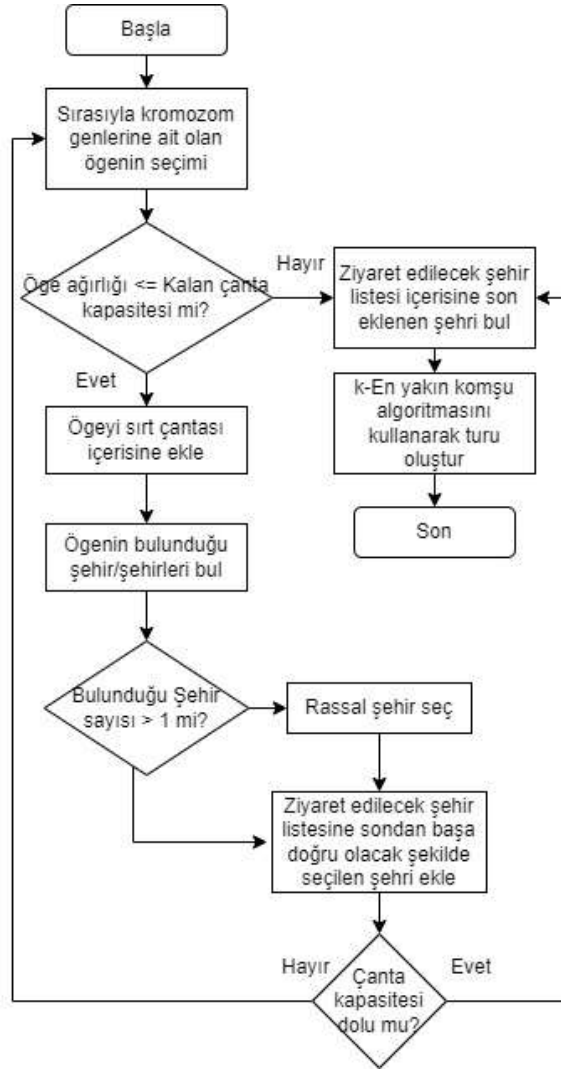
Öge sırası rassal olarak seçildikten sonra çanta kapasitesini aşmayacak şekilde seçilen öge kümesi belirlenecektir. Örnekte bulunan iki kromozom için, öge ağırlıklarının sırasıyla {2,3,1,1,2} olduklarını varsayarsak çanta kapasitesini aşmayacak şekilde öğelerin seçilmesi Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Sırt Çantasına Atılan Öge Seçimi (Figure 4. Selection of Items for the Backpack)

2.2.1.2 Geliştirilen Genetik Algoritmanın Adımları

Problemın çözümü için geliştirilen genetik algoritmanın adımları Şekil 5'te akış şemasında yer almaktadır. Akıştaki her bir sürecin nasıl gerçekleştiği izleyen kısımlarda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.



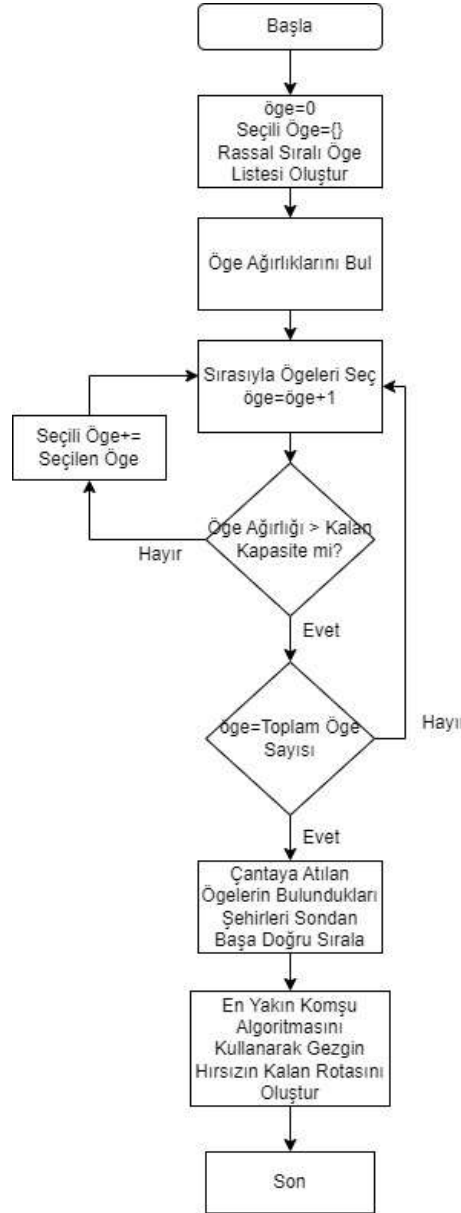
Şekil 5. Geliştirilen Genetik Algoritma İçin Akış Şeması (Figure 5. Developed Flowchart for the Genetic Algorithm)

İlk Neslin Türetilmesi:

İlk neslin türetilme adımları şu şekilde sıralanır:

- 1- Rassal bir şekilde öge numaraları sıralanır.
- 2- Her bir ögenin ağırlığı listelenir.
- 3- Rassal sıralı öğeler çanta kapasitesini aşmayacak şekilde toplama planına eklenir.
- 4- Çantaya eklenen ürünlerin buldukları şehirlerin listesi oluşturulur.
- 5- Şehir listesi içerisinde bulunan şehirler içerisindeki öğelerin, çantaya atılma sırasına göre buldukları şehirler sondan başa sıralanır.
- 6- Çantadaki öğelerin buldukları şehirler sıralandıktan sonra, sondan başa doğru olacak şekilde en kısa yol algoritması ile rota oluşturulur.

İlk neslin türetilmesi yöntemini adımları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. İlk Neslin Türetilmesine Dair Akış Şeması (Figure 6. Flow of First Generation Derivation)

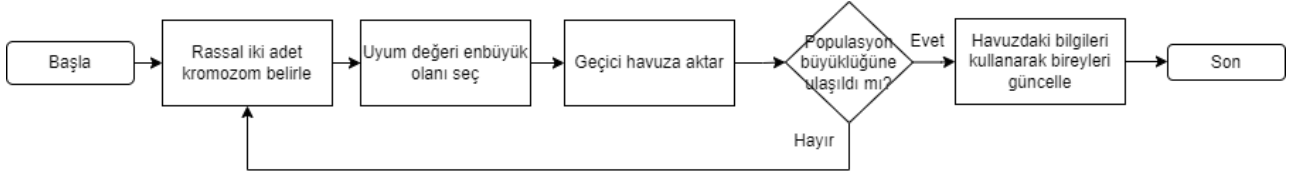
İkili Turnuva Yöntemi:

Bu yönteme göre turnuva büyüklüğü kadar birey rassal olarak seçilir ve turnuva grubuna girer. Literatürde sık kullanılan ikili turnuva yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemdeki ilke belli bir büyüklükte oluşturulan turnuvaların içerisindeki uyum değeri en iyi olan bireyin seçilmesidir. Uyum değerinin en iyi olma durumu amaç fonksiyonun göre değişmekle birlikte, enküçükleme problemleri için en küçük, enbüyükleme problemleri için ise en büyük uyum değeridir. İkili turnuva yöntemi adımları aşağıda özetlenmiştir.

İkili turnuva yöntemi adımları şu şekildedir:

- 1- Rassal bir şekilde iki adet kromozom belirlenir.
- 2- Belirlenen iki adet kromozom içerisinde uyum değeri en büyük olan kromozom seçilir.
- 3- Seçilen kromozomların bilgileri geçici bir havuza aktarılır.
- 4- Adım 1 ve Adım 3 popülasyon büyüklüğüne kadar tekrar ettirilir.
- 5- Geçici havuz içerisindeki bilgiler gerçek popülasyona aktarılır.

Bahsedilen adımlar Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. İkili Turnuva Yöntemine Dair Akış Şeması (Figure 7. Flowchart of Binary Tournament Method)

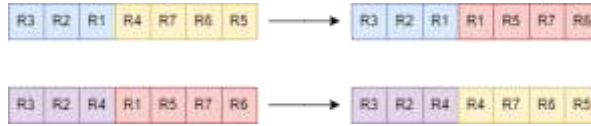
Elitizm Yöntemi:

Elitizm, topluluktaki en iyi belirli sayıda bireyleri hafızada tutarak bir sonraki nesil değiştirmeden aktarılmaya yarar. Bu yöntem ile oluşacak yeni topluluğa iyi bireyler girecek ve bunlardan üreyecek bireyler de daha iyi sonuç verecektir. Geliştirilen genetik algortmada Elitizm yöntemi şu şekilde kullanılmıştır.

- 1- İlk neslin içerisinde uyum değeri en büyük olan birey belirlenir.
- 2- Bu kromozomdaki genler ve uyum değeri hafızada tutulur.
- 3- Hafızada tutulan kromozom bilgileri bir sonraki neslin ilk kromozomu olur.
- 4- Adım 2 ve Adım 3 nesil boyunca tekrarlanır.

Çaprazlama Yöntemi:

Çaprazlama, ebeveynlerden bazı genleri belirli bir kurala göre alıp yeni bireyler oluşturma yöntemidir. Üzerinde çaprazlama yapılacak konum rastgele seçilir ve bu noktadan sonra gelen genler karşılıklı bir şekilde yer değiştirir. Çaprazlanacak kromozomların genleri başlangıç popülasyonu oluşturulan genlerden kopyalandığından dolayı gen bilgisi 0-1 arası rassal türetilmiş sayılardır. Çaprazlama sonucu elde edilen kromozomlar gerçek popülasyona aktarılır. Geliştirilen genetik algortmada çaprazlama Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Çaprazlama Yöntemi Gösterimi (Figure 8. Representation of Crossover Method)

Mutasyon Yöntemi:

Bu aşamanın ana amacı var olan bir çözüme ait kromozomun bazı genlerinin değerini değiştiren belirli yöntemleri kullanarak iterasyonlar sonucu mevcut nesilde kaybolmuş veya hiç incelenmemiş genleri ve çözümleri gen havuzuna eklemektir. Mutasyon işlemi ile mevcut çözüm kümesine yeni bilgiler eklenerek çözüm uzayının farklı alanlarının taranması sağlanmaktadır. Mutasyon genelde ikincil bir operatör olup, genler üzerine kurgulandığından nispeten küçük bir orana göre gerçekleştirilmiştir. Mutasyon sonucunda nesildeki kromozomlar ve genler belirli bir yaklaşım çerçevesinde güncellenir.

2.2.2 Rota Yönelimli Genetik Algortma (GHP-GA.2)

GHP için oluşturulan matematiksel modeli çözmek için geliştirilen algortmanın adımları aşağıdaki bölümde incelenmiştir.

2.2.2.1 Kromozom Yapısı

Başlangıç popülasyonu için $n \times n$ ölçüde rassal sayı içeren matris oluşturulur. Her satırın kendi içinde barındırdığı minimum rassal sayısına karşılık gelen düğüme atama yapılır. Atama yapılacak olan şehrin daha önce ziyaret edilmemiş ve başlangıç şehri olmaması gerekmektedir. Şekil 9’da 5×5 büyüklüğünde oluşturulan matrisi inceleyecek olursak ilk satırda minimum rassal sayıya karşılık gelen şehir 2 olduğu için 1-2 sıralaması ve bu yöntem ile daha sonra 1-2-5-4-3 sıralaması oluşturulur.

e-ISS!

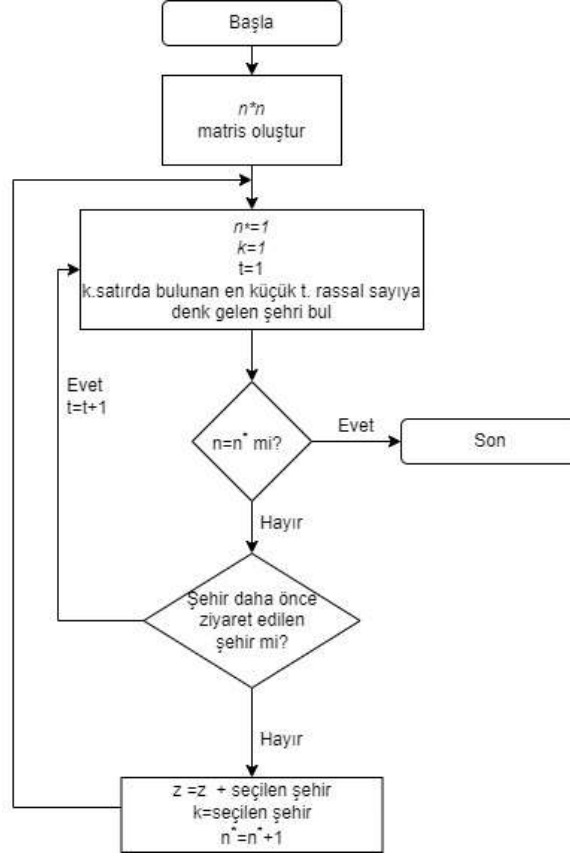
| x_{ij} | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 0,79006 | 0,12125 | 0,87717 | 0,33847 | 0,77559 |
| 2 | 0,47616 | 0,53651 | 0,96949 | 0,50807 | 0,26603 |
| 3 | 0,63899 | 0,79604 | 0,61798 | 0,94629 | 0,52051 |
| 4 | 0,04472 | 0,76486 | 0,09591 | 0,46576 | 0,08591 |
| 5 | 0,18467 | 0,03649 | 0,18418 | 0,0203 | 0,11088 |

| x_{ij} | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 0,79006 | 0,12125 | 0,87717 | 0,33847 | 0,77559 |
| 2 | 0,47616 | 0,53651 | 0,96949 | 0,50807 | 0,26603 |
| 3 | 0,63899 | 0,79604 | 0,61798 | 0,94629 | 0,52051 |
| 4 | 0,04472 | 0,76486 | 0,09591 | 0,46576 | 0,08591 |
| 5 | 0,18467 | 0,03649 | 0,18418 | 0,0203 | 0,11088 |

| x_{ij} | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Şekil 9. Kromozom Yapısı Gösterimi (Figure 9. Representation of Chromosome Structure)

Gezgin satıcının turu Şekil 10'da anlatılmıştır.



Şekil 10. Gezgin Hırsızın Turu Adımları (Figure 10. Steps of the Traveling Thief's Tour)

2.2.2.2 Geliştirilen Genetik Algoritmanın Adımları

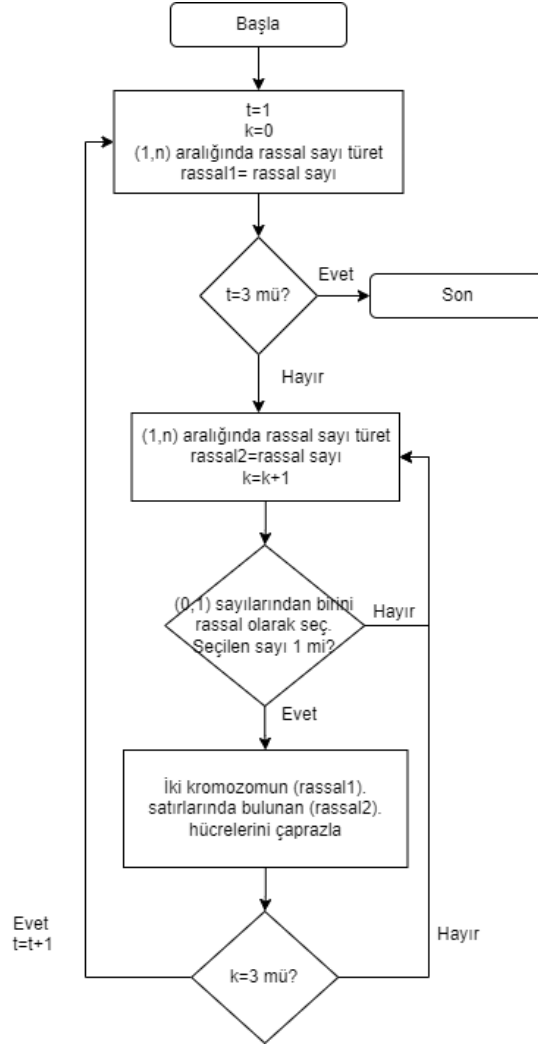
2.2.1.2 İlk Neslin Türetilmesi başlığında bahsedilen öge toplama planı, bu algoritma için uyarlanmıştır. Gezgin satıcının toplama planı ve turu oluşturulduktan sonra kromozomun uyum değeri hesaplanır. Daha sonra yukarıda elitizm, ikili turnuva yöntemi başlıklarında sözü edilen yöntemler gerçekleştirilir.

Çaprazlama Yöntemi:

$n \times n$ matriste (1,n) aralığında seçilen rassal sayıya eşit olan satır içerisinde rassal olarak 3 hücre seçilir. 0-1 sayıları, 0 seçilen hücrelerin değerini değiştirme, 1 seçilen hücreler arasında çaprazlama yapılsın anlamlarını taşıyacak şekilde rassal olarak 0 ya da 1 sayısı seçilir. Geliştirilen genetik algoritmada çaprazlama yöntemi Şekil 11'de gösterilmiştir.

Mutasyon Yöntemi:

Çaprazlama sonucunda elde edilen kromozom genlerinde rastgele 3 adet seçilir ve rassal sayı türetilir. Rassal sayı mutasyon oranından küçük ise gen mutasyona uğrar.



Şekil 11. Çaprazlama Yöntemine Dair Akış Şeması (Figure 11. Flowchart of Crossover Method)

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Geliştirilen iki algoritmanın, performanslarını araştırmak için Bonyadi ve diğerleri tarafından oluşturulan GHP kıyaslama örneklerinin temsili bir alt kümesi seçildi. Şehir sayısı, çanta boyutu, sırt çantası tipi ve sırt çantası kapasitesine göre değişen farklı soru örnekleri oluşturuldu. Çanta kapasitesi, küçük $c = 0,2$, orta $c = 0,5$, büyük $c = 0,8$ olmak üzere $W = c \sum_{i=1}^m w_i$ formülü ile hesaplanmıştır. Çanta tipi ise ilintisiz (uncorrelated(unc)), ilintisiz ve benzer ağırlıklı (uncorrelated with similar weights(usw)), sınırlı güçlü korelasyon (bounded strongly correlated(bsc)) olmak üzere üç farklı tipe ayrılmıştır. Hız aralığı $v_{min} = 0.1$ ve $v_{max} = 1.0$ olarak ayarlanmıştır.

Soru örneklerinin ad modeli aşağıdaki gibi olacaktır.

Şehir Sayısı – Şehir Başına düşen Öge Sayısı – Çanta Boyutu- Çanta Tipi

Aşağıda Tablo 2’de örnek veri seti için her iki algoritmanın çözüm sonuçları yer almaktadır.

| <i>Problemler</i> | <i>GHP-GA. 1</i> | <i>GHP-GA. 2</i> |
|-------------------|------------------|------------------|
| <i>14-1-k-unc</i> | 408,42 | -1180,22 |
| <i>14-1-o-unc</i> | 995,78 | -2346,73 |
| <i>14-1-b-unc</i> | -963,82 | -4688,15 |
| <i>14-1-k-usw</i> | -337,11 | -2142,8 |
| <i>14-1-o-usw</i> | 447,76 | -2672,33 |
| <i>14-1-b-usw</i> | 1980,53 | -4612,35 |
| <i>14-1-k-bsc</i> | 813,13 | -521,16 |
| <i>14-1-o-bsc</i> | 1315,79 | -2448,65 |
| <i>14-1-b-bsc</i> | 1010,82 | -4080,14 |

Yukarıda 2.2 Önerilen Yöntem algoritmaların isimleri sırası ile geliştirilen algoritma 1 ve geliştirilen algoritma 2 olarak belirlenmiştir.

başlığı altında anlatılan genetik geliştirilen algoritma 1 ve

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, geliştirilen genetik algoritma 1 daha başarılı çözümler üretmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, sırt çantasına atılan öğelerin buldukları düğümler, hırsızın son ziyaret edeceği düğümler olarak atanması ve turun oluşumu için kalan şehirleri sondan başa en kısa yol sezgiseli ile sıralanması hırsızın seyahat süresini kısaltmış olup sırt çantası için ödenecek olan kira ücretini azaltmıştır.

Rota yönelimli genetik algoritmada GHP ve SP birbirinden bağımsız olarak çalışır. Sırt çantasına atılan öğeler, GHP sonucunda hırsızın ziyaret edeceği turu elde ettikten sonra, toplam tur süresi, kira ücreti, çantanın değeri bu sonuçlara göre hesaplanır. Bu bağımsızlık hırsızın başlangıç şehirlerinden çantasına öğe eklemesine sebep olabilir. Hırsızın hızının yavaşlaması amaç fonksiyonu değerini olumsuz etkiler.

GHP-GA.1'in performansını değerlendirmek için Polyakovskiy vd. (2014) tarafından tanımlanan kapsamlı GHP örnekleri içerisinde seçili örnekler kullanılmıştır. Bu örnekler temel olarak GHP probleminde tanıtılır ve onu sırt çantası parametreleriyle daha da şekillendirir. Sorunu çözmek için bu örneklerin alındığı TSPLIB kitaplığı kullanılır (Reinelt, 1991).

Örnek veri seti içerisinde eil50_n50_01 örneği ele alınarak 3 farklı çanta tipine göre problem çözüldü. Çözdürülen 3 örnekte de şehir sayısı 51, öğe sayısı 50 yani her bir şehre düşen öğe sayısı 1 olarak kabul edilir. Intel® Core™ i5 – 5200 CPU 2.20GHz, 8 GB RAM özelliklerinde bir bilgisayar kullanılarak çalıştırılmıştır. Algoritma Visual Basic 6.0 programında kodlanmıştır.

Tablo 3. Test Problemlerinin Çözümü (Table 3. Solution of Test Problems)

| <i>Problem Adı</i> | <i>Çanta Kapasitesi</i> | <i>Kiralama Oranı</i> | <i>Toplam Kazanç</i> |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| eil51_n50_uncorr_01 | 2226 | 7.19 | 226,131 |
| eil51_n50_uncorr-similar-weights_01 | 4567 | 3.82 | 1139,185 |
| eil51_n50_bounded-strongly-corr_01 | 4029 | 4.44 | 3354,263 |

Tablo 3'de her bir problemin çanta kapasitesi ve toplam kazanç değeri paylaşılmıştır. Literatürden alınan test problem sonuçları incelendiğinde geliştirilen algoritmanın örnek seti sonuçlarına önemli bir düzeyde yakınsadığı görülmektedir.

3.1. Geri Kazanım Süreçlerinde Gezgin Hırsız Problemi Uygulaması

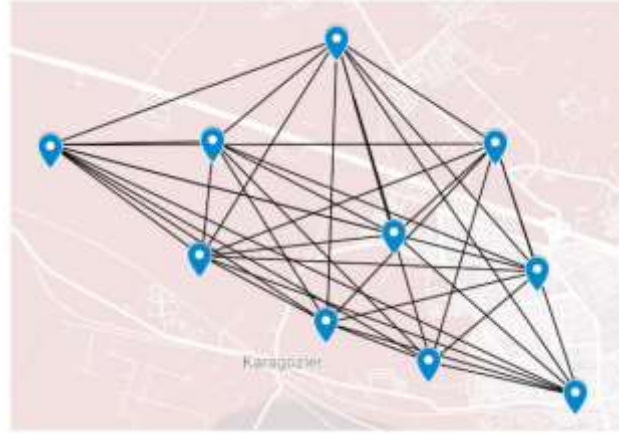
Atık kâğıt çalışanları, geri dönüştürebilir kâğıt ürünlerini çöplerden toplayarak atık depolarına satan ve geçimini sağlayan kişilerdir. Atık depoları ise daha büyük geri dönüşüm fabrikalarına satış yaparak geri dönüşüm sürecinde aracı roldedir. Kâğıt toplama arabası ile başlangıç deposundan çıkıp, rotası üzerinde sokaklarda bulunan çöp kutusu içinden kendi seçtiği kâğıt vb dönüşüm malzemelerini toplar. Toplama arabasının kapasitesini aşmayacak şekilde başladığı depo noktasına geri dönerek günü tamamlar. Toplama arabasında bulunan geri dönüşüm maddelerine atıkları türlerine göre farklı fiyatlandırma uygulanmaktadır. Atık kâğıt çalışanları, Gezgin Hırsız Probleminde hırsız rolündeki kişiyi, toplama arabaları sırt çantasını temsil etmektedir. Toplayıcının hızı, toplama arabasının doluluğuna göre değişmektedir. Problemdeki öğeleri geri dönüşüm malzemeleri olarak düşünürsek, geri dönüşüm malzemelerinin satış fiyatları öğelerin değerini, ağırlıkları ise öğelerin ağırlıklarına karşılık gelmektedir. Toplama aracına kullandıkları gün başına kira bedeli ödemektedirler, depoya geri döndüklerinde kira bedellerini ödeyerek kazançlarını sağlamaktadırlar. Böylelikle atık toplayıcılar çöpü ekonomik değere dönüştürerek kazançlı çıkabilmektedirler.

3.2. Geri Kazanım Süreçlerinde Hipotetik Problemin Uygulaması

Hipotetik problem için Batıkent mahallesinde bulunan 10 farklı lokasyon (düğüm) ele alınmıştır. İlk düğüm (depo) hariç tüm düğümde geri dönüşüm malzemeleri bulunmaktadır. Çanta kiralama bedeli $R = 3,64 pb$, çanta kapasitesi $W = 1850$ olarak belirlenmiştir. Hız değerleri $v_{min} = 0,1$ ve $v_{max} = 0,1$ olacak şekilde örnek bir problem türetilmiştir.



Şekil 10. Batıkent Mahallesi içinde Bulunan 10 Lokasyon (Figure 10. 10 Locations in Batıkent Neighborhood)



Şekil 11. Düğümler Arası Ayrıtlar (Figure 11. Edges Between Nodes)

Probleme ait mesafe matrisi Tablo 3’de verilmiştir. Ele alınan problemin matematiksel model çözümü için GAMS kullanılmıştır. Ayrıca excel programı içerisinde geliştirilen her iki algoritma da problem çözümü için çalıştırılmıştır. Hipotetik problem boyutu GAMS programında da çözülebilmesi adına küçük seçilmiştir.

Tablo 3. Hipotetik Probleme Ait Mesafe Matrisi (Table 3. Distance Matrix for the Hypothetical Problem)

| D_{ij} | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0 | 17,5 | 24,1 | 30,8 | 41,6 | 14,1 | 38,8 | 22,9 | 31,4 | 49,3 |
| 2 | 17,5 | 0 | 13,8 | 13,6 | 26,9 | 26,2 | 30,2 | 40,1 | 34,6 | 32,1 |
| 3 | 24,1 | 13,8 | 0 | 16,6 | 18,3 | 24,9 | 16,6 | 43,5 | 24,5 | 30,8 |
| 4 | 30,8 | 13,6 | 16,6 | 0 | 17,4 | 37,9 | 27,8 | 55,3 | 40,8 | 18,6 |
| 5 | 41,6 | 26,9 | 18,3 | 17,4 | 0 | 43,4 | 16,8 | 62,2 | 38,1 | 15,8 |
| 6 | 14,1 | 26,2 | 24,9 | 37,9 | 43,4 | 0 | 34,8 | 20,1 | 19,4 | 54,3 |
| 7 | 38,8 | 30,2 | 16,6 | 27,8 | 16,8 | 34,8 | 0 | 54,8 | 23,5 | 32,2 |
| 8 | 22,9 | 40,1 | 43,5 | 55,3 | 62,2 | 20,1 | 54,8 | 0 | 37,6 | 71,5 |
| 9 | 31,4 | 34,6 | 24,5 | 40,8 | 38,1 | 19,4 | 23,5 | 37,6 | 0 | 52,5 |
| 10 | 49,3 | 32,1 | 30,8 | 18,6 | 15,8 | 54,3 | 32,2 | 71,5 | 52,5 | 0 |

Problemin üç farklı çözümüne ait sonuçlar Şekil 12’de yer verilmiştir.

| GAMS Çözümü: | | Amaç Değerleri |
|------------------------|----------------------|----------------|
| Rota: | 1 8 2 3 4 10 5 7 9 6 | 1347.89 |
| Çantaya Atılan Öğeler: | 5 6 8 9 | |
| GA1 Çözümü: | | 1294,867 |
| Rota: | 1 8 3 2 4 5 10 7 9 6 | |
| Çantaya Atılan Öğeler: | 5 6 8 9 | |
| GA2 Çözümü: | | 746,2058 |
| Rota: | 1 8 2 10 5 9 4 7 3 6 | |
| Çantaya Atılan Öğeler: | 5 6 8 9 | |

Şekil 12. Hipotetik Problemin Çözüm Sonuçları (Figure 12. Solution Results of the Hypothetical Problem)

Sonuçlar ele alındığında daha önceki uygulamalarımızın aksine GAMS bu örnekte başarılı olmuştur. Problem boyutunun büyük olduğu durumlarda GAMS'in bu problem çözümü için sezgisel algoritmalarla rekabet etmesi mümkün değildir.

4. Sonuç

Sezgisel yöntemler literatürde büyük çaplı problemlerin ele alınmasına olanak sağlamıştır. Şu an ki gerçek hayat problemlerin üzerinde matematiksel modellemelerin optimizasyonlarının belirli boyutlarda tıkanıp görülmektedir. Gerçek hayat problemleri ise bu yöntemlerdeki gelişmelere bağlı olarak GHP gibi daha karmaşık problemleri içermektedir. Bu çalışma da GHP için yeni bir matematiksel model önerilmiştir. Bu çalışmada incelenen GHP için bir matematiksel model oluşturulmuştur. Matematiksel örnek küçük bir test problemi üzerinde başarılı olmuştur fakat büyük örnek sayılarının daha hızlı çözülmesi amacı ile matematiksel modeli çözümleyecek bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Problem bütünü ile ele alınıp incelendiğinde hırsızın çantaya ödediği kiralarmın büyüklüğü sebebi ile ikinci bir genetik algoritma geliştirilmiş olup bu algoritmada çantanın ağırlığı son düğümlerde artacak olup gezgin hırsızın düğümler arası süresinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Test problem kümesi içerisinde matematiksel model çözümü için geliştirilen genetik algoritmanın diğer geliştirilen genetik algoritmaya kıyasla daha başarısız olduğu görülmüştür. Algoritma başarısını değerlendirmek için literatürde yer alan kapsamlı GHP örnekleri içerisinde seçili örnekler kullanılmıştır. Örneklerin toplam kazançları literatürdeki örneklerle önemli düzeyde yaklaştığı gözlemlenmiştir.

Kaynakça

- Klamroth, K., Mostaghim, S., Naujoks, B., Poles, S., Purshouse, R., Rudolph, G., Ruzika, S., Sayin, S., Wiecek, M.M., Yao, X., 2017. Multiobjective optimization for interwoven systems. *Journal of MultiCriteria Decision Analysis* 24, 71–81.
- Bonyadi, M.R., Michalewicz, Z., Wagner, M., Neumann, F., 2019. *Evolutionary Computation for Multicomponent Problems: Opportunities and Future Directions*. Springer. pp. 13–30.
- Michalewicz Z (2012) Quo vadis, evolutionary computation? On a growing gap between theory and practice. In: *Advances in computational intelligence. Lecture notes in computer science*, vol. 7311. Springer, Berlin, pp 98–121
- Bonyadi M, Michalewicz Z, Barone L (2013) The travelling thief problem: the first step in the transition from theoretical problems to realistic problems. In: *Proceedings of the 2013 IEEE congress on evolutionary computation*, Cancun, Mexico, pp 1037–1044
- Polyakovskiy et al. (2014) Polyakovskiy S, Bonyadi MR, Wagner M, Michalewicz Z, Neumann F. A comprehensive benchmark set and heuristics for the traveling thief problem. In: *Arnold DV, editor. Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO '14*. New York: ACM; 2014. pp. 477–484.
- Reinelt (1991) Reinelt G. TSPLIB: a traveling salesman problem library. *INFORMS Journal of Computing*. 1991;3(4):376–384. doi: 10.1287/ijoc.3.4.376.



Evaluation of Risk Factors Causing Occupational Accidents in the Textile Sector Using Data Mining Methods

Büşra Tunçman^{1*}, Tülin Gündüz², Duygu Yılmaz Eroğlu³

^{1*} Bursa Uludağ University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Bursa, Turkey, (ORCID: 0009-0005-8361-1708), 502006001@ogr.uludag.edu.tr

² Bursa Uludağ University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Bursa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7134-3997), tg@uludag.edu.tr

³ Bursa Uludağ University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Bursa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7730-2707), duygueroğlu@uludag.edu.tr

(First received 18 July 2023 and in final form 17 December 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10646656)

ATIF/REFERENCE: Tunçman, B., Gündüz, T. & Yılmaz Eroğlu, D. (2024). Evaluation of Risk Factors Causing Occupational Accidents in the Textile Sector Using Data Mining Methods. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (53), 84-96.

Abstract

This study suggests that data mining methods can be helpful in preventing occupational accidents in the textile industry. Within the scope of the study, 89,963 occupational accident data that occurred in the textile sector between the years 2019-2021 were examined and the number of samples was reduced to 11,710 with the data preprocessing study. In estimating accidental injury types, model selection map was taken as reference and SVM, Extra Trees, Random Forest, Gradient Boosting and XGBoost algorithms were chosen. Models were compared using the macro F-score performance metric. The estimation performance of models has increased with data balancing and parameter optimization methods. XGBoost algorithm performed better than other algorithms with 70% prediction success. The SVM (69%) and Extra Trees (68%) have been among the algorithms that correctly interpreted the data set by reaching high macro F-score values. It has been seen that the features that have the most effect on the forecast result are cause of accident, material agent, sub-sector, and company size, respectively.

Keywords: Textile Sector, Occupational Accidents, Work Safety, Data Mining, Data Balancing and Hyperparameter Optimization.

Tekstil Sektöründe İş Kazalarına Neden Olan Risk Faktörlerinin Veri Madenciliği Yöntemleriyle Değerlendirilmesi

Öz

Bu çalışma, veri madenciliği yöntemlerinin tekstil sektöründe iş kazalarının önlenmesinde yardımcı olabileceğini önermektedir. Çalışma kapsamında, 2019-2021 yılları arasında tekstil sektöründe meydana gelen 89,963 iş kazası verisi incelenmiş ve veri ön işleme çalışması ile örneklem sayısı 11,710'a düşürülmüştür. Kaza sonucu oluşan yaralanma türlerinin tahmin edilmesinde model seçme haritası referans alınarak SVM, Ekstra Ağaçlar, Rastgele Orman, Gradient Boosting ve XGBoost algoritmaları seçilmiştir. Modeller makro F-skor performans metriği kullanılarak karşılaştırılmıştır. Veri dengeleme ve parametre optimizasyonu yöntemleri ile modellerin tahmin performansı artış göstermiştir. XGBoost algoritması %70 tahmin başarısı ile diğer algoritmalara göre daha iyi performans göstermiştir. SVM algoritması (%69) ve Ekstra Ağaçlar (%68) algoritması, yüksek makro F-skor değerlerine ulaşarak veri setini doğru yorumlayan modeller arasında yer almıştır. Tahmin sonucuna en çok etki eden özelliklerin sırasıyla kaza sebebi, kaza anında kullanılan araç/metaryel, alt sektör bilgisi ve firma büyüklüğü olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Tekstil Sektörü, İş Kazaları, İş Güvenliği, Veri Madenciliği, Veri Dengeleme ve Hiperparametre Optimizasyonu.

* Corresponding Author: 502006001@ogr.uludag.edu.tr

1. Introduction

A safe and healthy workplace environment is a fundamental principle and right. The most important aspect to consider in working life is to create a safe working environment that does not jeopardize the health of the employees. In this context, occupational accidents and diseases that result from a dangerous situation or behavior are the biggest problems. Governments, employers, and employees are responsible for knowing and applying their rights and responsibilities defined for a safe and healthy working environment. The basic aim of the OHS (Occupational Health and Safety) rules, which are globally significant, is to take the most appropriate preventive and protective measures to prevent occupational accidents and diseases. The International Labour Organization (ILO), which promotes a human-centered approach to the future of work, defines occupational accidents as incidents resulting in fatal or non-fatal injuries caused by work-related activities or occurrences. Occupational accidents and illnesses have destructive effects on employees, employers, and national economies.

According to recent statistics, approximately 270 million occupational accidents occur globally per year, with 360,000 of these resulting in fatalities. Analyses shared by the ILO show that occupational accidents and illnesses result in a loss of four percent of the global GDP (Santos, 2021). According to the records of the Social Security Institution (SSI), the recorded number of occupational accidents was 74,871 in 2012, reaching 423,551 in 2019. Industry-specific research indicates that in emergency department admissions due to work-related injuries, the metal and machinery industries rank first with a rate of 30.1%, while the textile sector ranks second with a rate of 28.7%. In another study that examined the causes of occupational accidents in a wider scope, the rate of dangerous behavior was calculated as 68.1% and the rate of dangerous conditions as 11.6%. The fact that the rate of dangerous behavior is significantly higher than that of dangerous conditions indicates that accidents can be largely prevented with small improvements (Güllüoğlu and Taçgın, 2018).

The increasing industrialization and technological developments both globally and in our country have led to some problems related to the working environment and conditions. During this process, certain rules and regulations have been established to ensure a safe working environment and conditions (Çakmak, 2019). The first major improvement initiative in Turkey was the creation of a separate regulation on occupational health and safety in 2012 (Recal ve Demirel, 2021). In addition to legal initiatives to prevent increasing occupational accidents, more comprehensive research and analysis are needed in the field of OHS. To make the right decisions to prevent occupational accidents, it is necessary to identify the factors that lead to occupational accidents and present them to decision-makers. One of the most important sources that can be used to determine these factors is work accident data. However, the increasing size of the occupational accident data, which includes various parameters defining accidents, has rendered traditional statistical methods insufficient. Therefore, data mining technique in big data analysis, which combines statistical methods with artificial intelligence techniques to extract valuable information from complex datasets, has become a powerful alternative to traditional statistical methods (Recal, 2022).

The analysis of occupational accident data with large data sizes has been facilitated by the data mining technique. This situation has led to an increasing share of research focusing on the analysis of occupational accidents in the literature. Studies analyzing occupational accidents using data mining techniques have mostly focused on national or international occupational accident data. In sector-specific studies, work accidents in heavy industries such as mining, petrochemical, and metal sectors have been the focus of research. As an example of sector-specific studies, Cheng et al. (2022) analyzed work accidents in the petrochemical industry in Taiwan for the analysis of work accidents. Classification and regression tree (CART) methods from data mining techniques were used to examine the distribution and rules of accident factors. In some studies in the literature, occupational accidents occurring in different sectors are analyzed at the same time. Gul et al. (2016) analyzed occupational accidents occurring in different sectors in Turkey for two purposes. In the first stage, the characteristics of the employees who had work accidents and accident information were analyzed with clustering algorithms, and the management style that would maximize the efficiency of the investments made to the employees was investigated. In the second stage, hypotheses assuming whether there was any relationship between the characteristics of the employees and occupational accidents were evaluated in binary confusion matrices. WEKA (data mining program) was used in the study.

In his study examining occupational accidents on commercial ships, Çakır (2019) used data mining methods to identify factors affecting injury severity. In the study, the association rule method was used to examine the relationships between accident features and to create accident patterns. The association rule method has been frequently observed in recent studies on occupational accident analysis. Another example of such studies is developed by Çakmak (2019). In the study, accident data recorded by the Social Security Institution (SGK) for the years 2016 and 2017 were used. The study has shown that the association rules method commonly used in market research can also be used in research on the analysis of occupational accidents. Ayanoglu and Kurt (2019) analyzed accident data in the metal industry using data mining methods (artificial neural network) and developed an accident prediction model. The output label was selected as accident severity (minor injury, injury, limb loss, and fatal accident). WEKA 3.8.1 data mining program was used for analyzing. In studies analyzing occupational accidents with data mining methods, different output labels expressing the accident outcome were preferred.

In some studies in the literature, accident severity has been evaluated using the duration of lost workdays. As an example of this Recal (2022) developed a two-stage data mining method: determining the factors affecting the severity of accidents using the machine learning method and revealing the accident chains formed by the determined factors using the association rule.

Choi et al. (2020) conducted an analysis of industrial accident data in the construction sector using logistic regression, decision trees, random forest, and AdaBoost techniques. They developed a prediction model for categorizing accident risk categories. All model performances were compared and random forest analysis yielded the most successful result in predicting imbalanced binary classifications (91.98%). Similarly, Koç et al. (2021) used ensemble machine learning methods to forecast the condition of

construction workers after an accident. The XGBoost method based on genetic algorithm showed the best performance. Kakhki et al. (2019) used SVM, Boosted Trees, and Naive Bayes algorithms to classify injury severity data resulting from agricultural accidents. They used the F-score metric for model evaluation and found that support vector machines outperformed all other models. The F-score metric, being the harmonic mean of precision and recall, is one of the useful criteria for evaluating the efficacy of classifier algorithms (Mathews, 2016). Khairuddin et al. (2022) found that, the Random Forest method was more successful than other methods in achieving a higher F-score value.

Studies on occupational accidents are generally based on predicting the outcomes of accidents. Parameter optimization in classification algorithms is crucial for the accuracy of prediction models. When building a machine learning model, it is necessary to adjust the hyperparameters for each specific problem. Hyperparameters are configuration variables that are evaluated during the training stage to obtain optimized average values after various trial processes. Optimizing hyperparameters for machine learning directly affects the performance of models (Yang and Shami, 2020). Sarkar et al. (2019) utilized machine learning-based predictive models with optimized parameters to predict accident outcomes using accident data from an integrated steel plant in India between 2010-2013. Wu et al. (2019) proposed the use of automated search algorithms to overcome the disadvantages of manual parameter selection.

Grid search involves training a machine learning model with all conceivable hyperparameter configurations from the training set, and assessing performance based on a predefined metric in the cross-validation set. Shekar and Dagnew (2019) applied a grid search method for parameter optimization along with a cross-validation method in which samples were divided into k randomly selected folds. The sample sizes of classes in a dataset may not always be balanced. In multi-class classification problems, the examples of a class can significantly outnumber other classes. These datasets are defined as imbalanced datasets. In some cases, the minority class may be crucial. However, most classifiers are trained assuming that the numbers of samples in the majority and minority classes are the same (Sarkar et al., 2019).

Imbalanced datasets negatively affect the performance of classifiers (Bulut, 2016). Studies and statistics show that occupational accident datasets classified based on accident outcomes often have an imbalanced distribution. The high frequency of non-fatal occupational accidents compared to fatal ones causes the imbalance of the workplace accident dataset. Consequently, it becomes challenging for a machine learning model to predict fatal occupational accidents. Using resampling techniques in these types of datasets provides significant improvements in predicting accident outcomes (Koc and Gurgun, 2022). The SMOTE algorithm creates a high-speed sampling technique to address the imbalance in the original training set. Rather than creating a direct replica of the minority class samples, it generates synthetic samples (Fernández et al., 2018).

When examining the studies conducted on occupational accidents analyzed by data mining methods, it is evident that no similar research has been conducted to predict the types of injuries resulting from occupational accidents in the textile sector. This article aims to investigate and analyze the risk factors for controlling work accidents in the textile sector using data mining methods. For this purpose, 89,963 work accident data reported to the Social Security Institution (SSI) by companies in the textile sector between 2019 and 2021 were analyzed using data mining methods. The types of injuries resulting from occupational accidents were predicted by XGBoost (eXtreme Gradient Boosting), SVC (Support Vector Classification), Extra Trees, Gradient Boosting, and RF (Random Forest) methods. All methods were compared in terms of their prediction performances and the most successful method was selected. The remaining part of our study consists of three main sections. The second section includes material and method, the third section includes result and discussion and the last section includes the conclusions and recommendations.

2. Material and Method

2.1. Material

In this section, data mining analysis methods used in the study are explained technically.

2.1.1. Machine Learning Algorithms

Support Vector Machines (SVM)

SVM, initially introduced by Vladimir Vapnik and Alexey Chervonenkis in 1963, is a machine learning method with theoretical roots in statistical learning and aims at structural risk minimization (Li et al., 2012; Sánchez et al., 2011). Initially developed for regression tasks, the method was later used as a powerful classifier (Sarkar et al., 2019). SVM is one of the strongest supervised machine learning algorithms due to its ability to avoid the overfitting problem in classification tasks (Yang, 2015; Baby et al., 2021).

Random Forest

Random Forest was developed by Leo Breiman in 2001. It is a popular supervised machine learning algorithm suitable for both classification and regression tasks. It operates on the principle of ensemble learning, where multiple classifiers are combined to tackle complex problems and enhance model performance.

Extra Trees Classifier

Similar to Random Forest, The Extra Trees algorithm is an ensemble learning method that trains numerous decision trees and aggregates their results to obtain a prediction output. The concept of averaging is used to increase accuracy and control overfitting (Abhishek, 2020). Extra Trees allows for the reduction of model bias by using the entire dataset to train decision trees.

Gradient Boosting Classification

Gradient Boosting Classifier, developed by Friedman and his colleagues (2021), is an ensemble learning algorithm used for regression and classification tasks. Gradient boosting aims to minimize a loss function that represents the predictive performance of a model for a particular set of parameters (Bahad and Saaxena, 2020). The name "gradient boosting" comes from the combination of the gradient descent algorithm and boosting technique.

XGBoost (eXtreme Gradient Boosting)

The XGBoost algorithm, created by Tianqi Chen and Carlos Guestrin in 2016, is an advanced version of the gradient boosting algorithm (Parsa et al., 2020). Each tree in the ensemble learns from the previous trees and influences the subsequent trees, collectively enhancing the overall model performance (Friedman, 2001). The XGBoost method is designed for speed, ease of use, and performance on large datasets. Therefore, it offers high performance compared to Gradient Boosting (Dhaliwal et al., 2018). The development of the XGBoost method over the years is shown in Figure 1 (Samur, 2020).



Figure 1. The development of decision tree-based XGBoost algorithm over the years (Şekil 1. Karar ağacı tabanlı XGBoost algoritmasının yıllar içindeki gelişimi)

2.1.2. Classification Metrics

Classification metrics are used to evaluate the performance of machine learning models. Different evaluation criteria exist that reflect the performance of a classification model. Each machine learning model has different constraints and working procedures. Therefore, choosing an appropriate evaluation metric for the problem is crucial for model setup and optimization. The confusion matrix provides information about the prediction performance of the machine learning model (Çelik et al., 2022). The actual and predicted values used in the computations of performance metrics for classification problems are based on the confusion matrix. The expressions corresponding to the fields in the confusion matrix are shown in Table 1.

Table 1. Confusion Matrix (Tablo 1. Karmaşıklık matrisi)

| | | | |
|--------|----------|----------------|----------------|
| Actual | Negative | False Positive | True Negative |
| | Positive | True Positive | False Negative |
| | | Positive | Negative |
| | | Predicted | |

TN (True Negative) indicates that the result is correctly predicted by predicting a negative class label for the values whose true class label is negative. TP (True Positive) indicates that the result is correctly predicted by predicting a positive class label for the values whose true class label is positive. FP (False Positive) indicates that the result is incorrectly predicted by predicting a positive class label for the values whose true class label is negative. FN (False Negative) indicates that the result is incorrectly predicted by predicting a negative class label for the values whose true class label is positive.

Accuracy indicates the ratio of correct predictions made by the classifier method (Equation 1). Precision shows how many of the samples predicted as positive in the test section are correctly classified (Equation2). The recall is a metric that shows how many of the positive examples we should have predicted as positive (Equation 3). A low recall rate confirms that there are many false positives and few true positives. F-Score provides the harmonic mean of precision and recall values (Equation 4). The formulas for the metrics are given in Table 2. All metrics take a value between 0 and 1. The best value is 1 and the worst value is 0.

Table 2. Performance metrics (Tablo 2. Performans metrikleri)

| Accuracy | Precision | Recall | F- Score |
|---------------------------------|------------------------|------------------------|---|
| $\frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$ (1) | $\frac{TP}{TP+FP}$ (2) | $\frac{TP}{TP+FN}$ (3) | $2 * \frac{\text{Precision*Recall}}{\text{Precision+Recall}}$ (4) |

2.1.3. Problem of Imbalanced Datasets and Solution Methodologies

The purpose of classification algorithms is to maximize the accuracy rate of predictions. However, in imbalanced datasets where examples are concentrated in some classes, the prediction performance of classification algorithms tends to decrease. Classification algorithms usually assume that the examples in the training set are evenly distributed among classes. Minority classes, which contain rarely occurring events are generally the most important data that needs to be learned (Weiss, 2004; Fernández et al., 2013). The main goal of algorithms focused on imbalanced datasets is to increase the accuracy rate and reduce error rates (Pir, 2022). Four different methods are generally suggested to deal with the issue of class imbalance in both standard and ensemble learning algorithms:

NearMiss, Random-Undersampling (RUS), Random-Oversampling (ROS), and Synthetic Minority Over-Sampling Technique (SMOTE).

NearMiss is a method that aims to prevent information loss. It is based on the KNN algorithm. The distance between majority class examples and minority class examples is calculated and examples with short distances are preserved based on the specified k value. RUS is a method that involves removing random examples from the majority class so that the count of majority class examples is the same as the number of minority class examples. This method reduces the time required for classification and improves classification accuracy. However, the biggest disadvantage of RUS is the loss of potentially useful data for the induction process. ROS is an approach designed against class imbalance by randomly replicating minority class examples. The disadvantage of this method is that it can lead to overfitting and increase classification time due to the creation of exact copies of existing examples (Fernández et al., 2013; Pir, 2022). SMOTE is an oversampling method that generates synthetic minority examples. It is one of the most commonly used methods for addressing the problem of imbalanced datasets in data mining projects. The main idea of this method is to select random neighbors from the nearest k neighbors of the minority class examples and create synthetic samples along the line segments that connect any one/all of the selected neighbors depending on the required amount of oversampling. This method prevents the problem of overfitting and provides good classification performance.

2.1.4. Hyperparameter Tuning Based On Gridsearch

Hyperparameter optimization is the process of finding the optimal combination of hyperparameters for a machine learning method based on a selected performance metric. Each machine learning algorithm has multiple hyperparameter expressions and different value options on a hyperparameter basis. It can be challenging to find the best combination of hyperparameters by manually testing each one to achieve a successful model. Therefore, various methods have been developed for hyperparameter optimization. GridSearch is one of the most commonly used methods for hyperparameter optimization. The goal of the Grid Search method is to select the hyperparameter combination that maximizes the prediction model's performance. Accuracy values obtained from different test datasets vary. To solve this problem, grid search is often used in conjunction with the k-fold cross-validation method. In this method, the data is partitioned into k groups, where k-1 groups are used for training and the remaining group is used for testing. The algorithm is trained and tested k times. The performance of the model is recorded at each iteration and the average of all performances is calculated at the end (Ranjan et al., 2019).

2.2. Method

In this study, the roadmap shown in Figure 2 was followed. All the steps followed in the data mining process were detailed in this roadmap. In the first stage, occupational accident data that occurred in the textile industry in the last 3 years was requested from the Social Security Institution (SSI) within the scope of the necessary features required for the study.

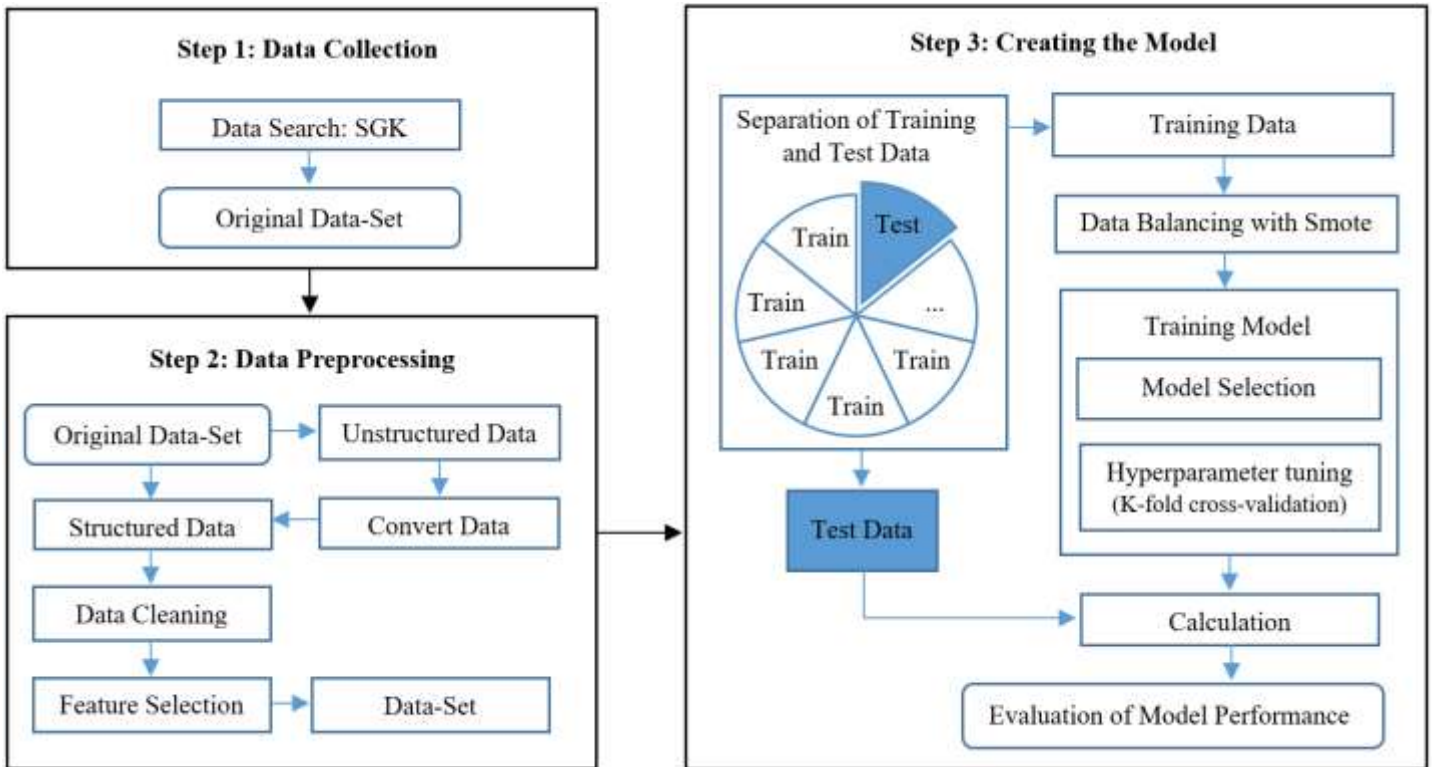


Figure 2. Data mining model selection map (Şekil 2. Veri madenciliği model seçim haritası)

In the second stage, the information in the data set sent by the SGK was examined, and new features that were thought to be meaningful for the study were derived by transforming some of the data. The data set obtained by adding new features was subjected to data preprocessing steps. All the features in the data set were statistically analyzed. Outliers in numerical features were identified

and removed. In categorical features, expressions with insufficient sampling have been cleaned. After the data cleaning process, a feature selection method based on statistics was used. The relationship between each input feature and the output label was evaluated and the input features with the strongest relationship with the output label were selected.

After completing the data preprocessing stage, the model creation stage was initiated. In the model creation stage, the dataset was partitioned into two parts: training and testing data. Different data balancing methods were tried to optimize the prediction performance and reduce the error rate of the model despite the imbalanced distribution of the dataset. The most successful result was achieved with the Smote method. Data balancing techniques should only be applied to the training set. If applied to the test set, the evaluation result will be misleading. Suitable models were identified for the balanced training dataset. The most appropriate hyperparameter combinations were created using the grid search function according to the classification metric for the selected machine learning models. At this stage, 5-fold cross-validation process was utilized to prevent the possibility of different accuracy values obtained by evaluating different test datasets. The machine learning models with optimized parameters using the Grid Search method were trained with the training dataset. After the training process was completed, the models were tested using the test dataset. Based on the test results; accuracy, precision, recall, and F-score values were calculated and model performances were compared.

2.2.1. Data-Set

In this study, the dataset used consists of work accident data reported to the Social Security Institution (SSI) by companies in the textile sector. The dataset sent by the SGK includes 20 different features. The feature description, feature type, and quantity of categorical features are shown in Table 3. Within the context of the study, 89,963 occupational accident data in the textile sector between 2019-2021 were analyzed. The type of Injury, affected parts of the body, and the result of accident are data that can be recorded after the accident. Therefore, these output data are label options. When the studies have been examined, it can be observed that the imbalanced dataset problem significantly negatively affects the model's success when the result of accident data is evaluated as the label. Therefore, the type of injury data has been selected as the label.

Table 3. Informations of dataset features (Tablo 3. Veri seti değişken bilgileri)

| Feature | Description | Feature Type | Quantity of Category |
|-------------------------------------|--|--------------|----------------------|
| <i>Identification Number</i> | Identification number of the employee who had an occupational accident (closed expression). | categorical | 89,963 |
| <i>Gender</i> | Gender of the employee who had an occupational accident | categorical | 2 |
| <i>Age</i> | Age of the employee who had an occupational accident | numerical | - |
| <i>Marital Status</i> | Marital status of the employee who had an occupational accident | categorical | 7 |
| <i>Sub-Sector</i> | The sub-sector in which the employee who had an occupational accident worked. | categorical | 20 |
| <i>City</i> | The city where the employee who had an occupational accident lived. | categorical | 77 |
| <i>Work Experience</i> | Work experience(day) in the company where the employee had a work accident. | numerical | - |
| <i>Business Registration Number</i> | Business registration number of the employee who had an occupational accident (closed expression). | categorical | 89,963 |
| <i>Educational Status</i> | Educational status of the employee who had an occupational accident. | categorical | 11 |
| <i>Job Title</i> | Job title of the employee who had a work accident. | categorical | 1242 |
| <i>Accident Time</i> | The hour at which the accident occurred. | categorical | 24 |
| <i>Accident Year</i> | The accident's occurrence year. | categorical | 3 |
| <i>Accident Month</i> | The accident's occurrence month. | categorical | 12 |
| <i>Arrival Time at Work</i> | The employee's arrival time on the day of the accident. | categorical | 24 |
| <i>Company Size</i> | The number of employees at the workplace where the accident occurred. | numerical | - |
| <i>Cause of Accident</i> | The situation/activity that caused the employee to have an occupational accident. | categorical | 9 |
| <i>Material Agent</i> | The tool, object, or instrument being used by the victim when the accident happened, just before the accident. | categorical | 22 |
| <i>Affected Parts of The Body</i> | The parts where the employee's body is affected as a result of an occupational accident. | categorical | 9 |
| <i>Type of Injury</i> | The type of injury as a result of an occupational accident. | categorical | 14 |
| <i>Result of The Accident</i> | The status of the employee as a result of an occupational accident. | categorical | 5 |

2.2.2. Preprocessing

Upon examination of the dataset provided by the Social Security Institution (SSI), it was observed that the Identification Number and Business Registration Number features contain specific information unique to each occupational accident (All personal information has been provided to us by the SSI in closed expressions by the Personal Data Protection Law). The first step in the data preprocessing phase was to clean these expressions. In addition, a new feature has been derived defined as pre-pandemic/post-pandemic, was derived using the data of the month and year of the accident. Before March 2020 is defined as pre-pandemic and after March 2020 is defined as post-pandemic. The effect of this feature on the accident outcome was tested during the modeling phase. After adding and removing features in the dataset, data preprocessing steps were carried out. All features in the dataset were examined statistically. In the categorical features, expressions with a percentage of sample size equal to zero were deleted to clean the expressions without sufficient sampling.

The type of injury label contains a total of 14 different expressions. In Table 4, the quantity and rate of each label in the dataset are expressed. 'Other specified injuries' and 'Unknown or unspecified type of wound' were excluded from the analysis as they do not have a clear definition. To avoid the rare types of injuries resulting from occupational accidents from affecting the prediction performance of the machine learning model, injury type labels with a sample size of less than one per thousand were not included in the analysis. These labels are 'multiple injuries', 'concussion and internal injuries', 'loss of part of the body', 'effects of extreme heat, light, and radiation', 'effects of sound, vibration and pressure', 'drowning and shortness of breath', and 'brain concussion and internal injuries'. Through the research and analysis conducted, it has been observed that the injury type labels defined as 'dislocations, sprains and strains' and 'bone fractures' are the result of similar incidents. Based on this information, examples belonging to two labels are combined and a new label is defined under the title of 'dislocations, sprains, strains, and bone fractures'. The numerical equivalence of the type of injury label with label encoding is as follows: burns and frostbite are represented as 0, wounds and superficial injuries as 1, poisoning and infections as 2, dislocations, sprains, strains, and bone fractures as 3, and shock as 4.

Table 4. Type of injury labels (Tablo 4. Yara türü etiketleri)

| Label | Quantity | % |
|---|----------|-------|
| Wounds and superficial injuries | 44,707 | 49,7% |
| Other specified injuries | 19,126 | 21,3% |
| Dislocations, sprains, and strains | 13,503 | 15,0% |
| Unknown or unspecified type of wound | 5,649 | 6,3% |
| Bone fractures | 3,129 | 3,5% |
| Burns and frostbite | 1,696 | 1,9% |
| Poisoning and infections | 1,430 | 1,6% |
| Shock | 178 | 0,2% |
| Multiple injuries | 130 | 0,1% |
| Concussion and internal injuries | 125 | 0,1% |
| Loss of part of the body | 118 | 0,1% |
| Effects of extreme heat, light, and radiation | 53 | 0,1% |
| Effects of sound, vibration, and pressure | 39 | 0,0% |
| Drowning and shortness of breath | 12 | 0,0% |

After the data cleaning process, the relationship between each input feature and the output label has been evaluated using the Filter-Based Feature Selection Method. It has been observed that the input features with the strongest relationship with the output label are cause of the accident, material agent, sub-sector, and company size, respectively.

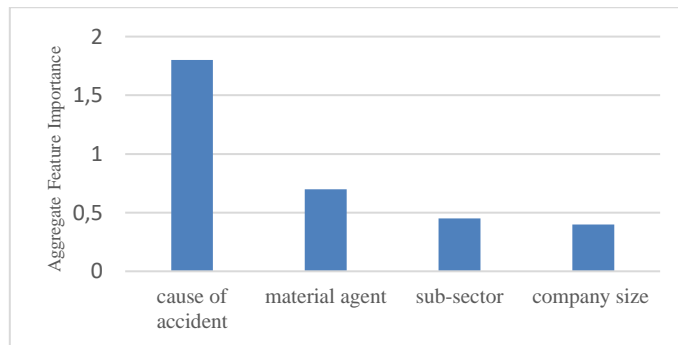


Figure 3. Feature importance graph (Şekil 3. Özellik önem grafiği)

The Covid-19 pandemic that started in 2020, resulted in employees working from home as much as possible and being away from their workplaces. As a result, there was a decrease in the number of days and hours worked in the workplace. The impact of the pandemic on occupational accidents was examined using Phi_K correlation analysis, which works consistently among categorical

features. The correlation matrix was examined separately by eliminating the occupational accidents that occurred during the pandemic period in the occupational accident dataset. Figure 4 shows the analysis results of occupational accident data for the three-year period (2019-2021) that included the pandemic period, while Figure 5 shows only the analysis results of occupational accident data before the pandemic. The binary evaluations in the correlation matrix, the correlation value of 0 indicates that there is no connection between the two features. It has been observed that the correlation values in the correlation matrix including the pandemic process are much lower compared to the correlation values in the correlation matrix without the pandemic process. This shows that the relationship of the label to many features (cause of accident, material agent, company size and gender) are stronger in the occupational accident dataset, in which the pandemic process is not included [Figure 5]. To avoid misleading the analysis of the pandemic process, which has largely lost its effect today, only occupational accidents that occurred before the pandemic were analyzed.

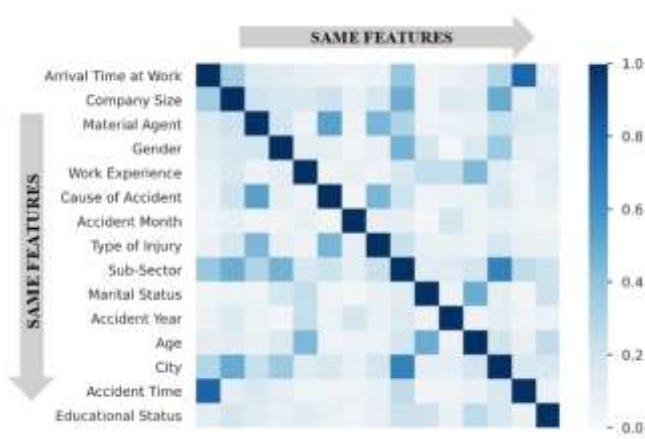


Figure 4. Correlation matrix (2019-2021)
(Şekil 4. Korelasyon matrisi (2019-2021))

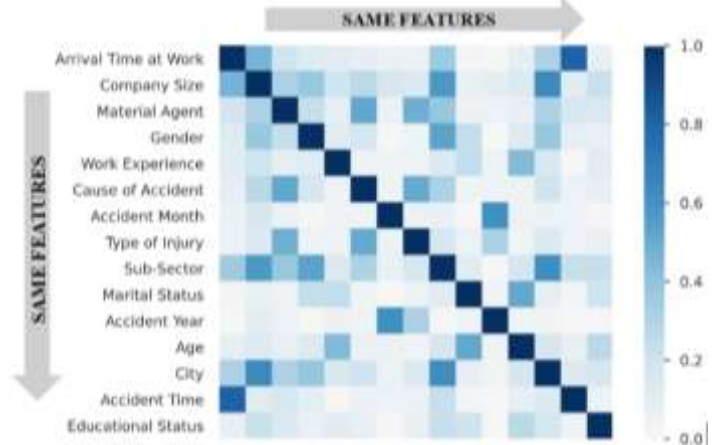


Figure 5. Correlation matrix (2019-2020 March)
(Şekil 5. Korelasyon matrisi (2019-2020 mart))

3. Result and Discussion

In this section, the methods described in the second section were applied step by step to the occupational accident dataset and model performance values were recorded and compared at each step. Data preprocessing steps (feature selection, converting categorical data to numerical data with one-hot encoding, normalization), model creation (data balancing, hyperparameter optimization), and all tests performed to calculate model performance were carried out in Python 3.

During the data cleaning process, the features were initially inspected. In the categorical features, expressions with a percentage of sample size equal to zero were deleted to clean the expressions without sufficient sampling. Next, the output labels were scrutinized. Two output labels that unclear definitions were eliminated from the dataset. Furthermore, injury type labels with a sample size of less than one per thousand were excluded from the analysis to prevent rare injury types from affecting the performance of the machine learning model.

Lastly, occupational accidents that occurred during the pandemic process, whose misleading effect was proven by correlation analysis, were excluded from the dataset. As a result of the analysis and evaluations conducted in the data preprocessing step, the number of samples in the dataset has been decreased to 11,710 to optimize the prediction performance of machine learning algorithms. The category quantities of the features in the dataset after the data preprocessing step is shown in Table 5.

Table 5. Information of features after preprocessing (Tablo 5. Ön işleme sonrası özellik bilgileri)

| Feature | Category | Feature | Category |
|--------------------|----------|----------------------|----------|
| Gender | 2 | Accident Time | 24 |
| Age | - | Accident Year | 2 |
| Marital Status | 6 | Accident Month | 12 |
| Sub-Sector | 16 | Arrival Time at Work | 24 |
| City | 71 | Company Size | - |
| Work Experience | - | Cause of Accident | 8 |
| Educational status | 11 | Material Agent | 19 |
| Job Title | 567 | Type of Injury | 14 |

3.1. Application of Algorithms

After completing the data preprocessing step, the dataset was separated randomly into 80% for training and 20% for testing. Next, the MaxAbs Scaler one of the feature scaling methods, was used to normalize the input features of the dataset. In this way, all features were brought to a common scale using their maximum value. Different prediction models are used for different data types and different problems. The model selection map in Figure 6 has been a guide in the selection of the predictive models used in the study.

Considering the dataset and the aim of the study, it was decided to use the SVM, Random Forest, Extra Trees, Gradient Boosting, and XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) algorithms.

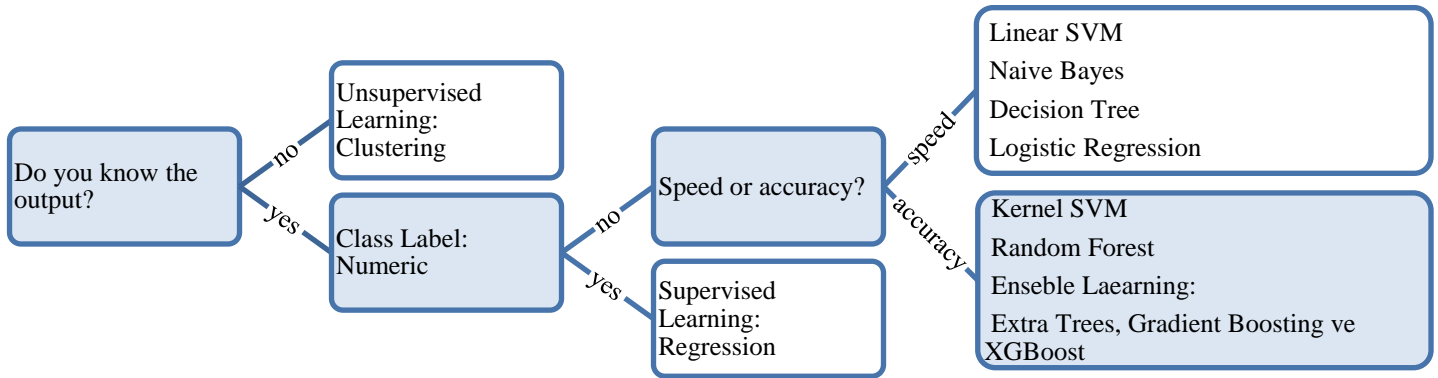


Figure 6. Model selection map (Şekil 6. Model seçim haritası)

3.1.1. Evaluation of Data Balancing Methods

When measuring model performance in imbalanced datasets, low precision and high recall or vice versa success metrics can be obtained. This makes it difficult to compare models. To properly compare the performance of models in this situation, the F-score metric should be used. In the process of building and evaluating the model in this study, the F-score metric has been taken as the basis. However, the high F-score value of the label with a high sample size significantly can raise the weighted F-score value. Therefore, the model performances were compared using the macro F-score, which represents the average of F-score values.

Due to the imbalanced distribution in the dataset, the test sample sizes for some class labels remained very low. In highly imbalanced datasets, accuracy values that favor the majority class can be misleading in terms of the overall success of the model. To overcome this problem, data balancing methods were employed. RUS, ROS, SMOTE and Near Miss methods were applied to the training dataset. The most successful result was achieved with the SMOTE method. Table 6 shows the success values for all scenarios.

Table 6. Evaluation of data balancing methods (Tablo 6. Veri dengeleme yöntemlerinin değerlendirilmesi)

| Data Balancing Methods | Metrics | SVM | Extra Trees | Random Forest | Gradient Boosting | XGBoost |
|------------------------|---------------|------|-------------|---------------|-------------------|---------|
| Original | accuracy | 0.76 | 0.76 | 0.77 | 0.76 | 0.76 |
| | macro F-score | 0.58 | 0.61 | 0.62 | 0.61 | 0.61 |
| Near Miss | accuracy | 0.25 | 0.34 | 0.34 | 0.42 | 0.37 |
| | macro F-score | 0.25 | 0.24 | 0.24 | 0.28 | 0.31 |
| RUS | accuracy | 0.61 | 0.61 | 0.61 | 0.59 | 0.63 |
| | macro F-score | 0.50 | 0.46 | 0.45 | 0.42 | 0.46 |
| ROS | accuracy | 0.76 | 0.76 | 0.76 | 0.75 | 0.76 |
| | macro F-score | 0.57 | 0.52 | 0.50 | 0.53 | 0.57 |
| SMOTE | accuracy | 0.76 | 0.76 | 0.76 | 0.75 | 0.75 |
| | macro F-score | 0.67 | 0.66 | 0.64 | 0.64 | 0.65 |

3.1.2. Evaluation of Hyperparameter Tuning Method

Parameters are configuration variables that machine learning algorithms used to predict output labels in the dataset. To achieve successful results from the chosen models, ideal hyperparameter values must be determined. For this purpose, all possible combinations have been tried using the GridSearch method with 5-fold 2-repeat configuration and the parameters that provide the best combination have been applied to the models. The hyperparameter selection modules are designed to optimize the F-score value. Models that completed the data balancing with SMOTE and hyperparameter optimization with GridSearch were tested and confusion matrices that represent the model outputs are shown in Figure 7. Class labels' numerical equivalences are burns and frostbite: 0, wounds and superficial injuries: 1, poisoning and infections: 2, dislocations, sprains, strains, and bone fractures: 3, and shock: 4.

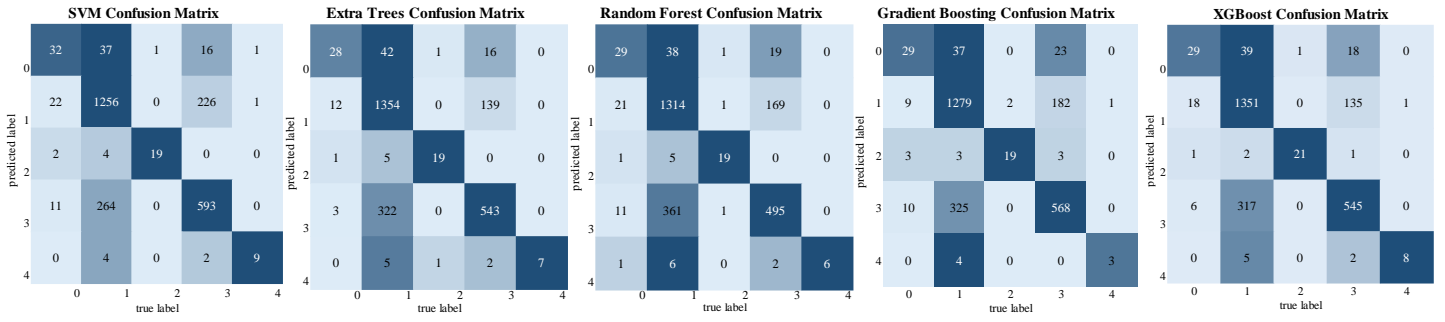


Figure 7. Confusion matrices of models developed with hyperparameter optimization (Şekil 7. Hiperparametre optimizasyonu ile geliştirilen modellerin karmaşıklık matrisleri)

The prediction performances of machine learning methods were compared using classification report metrics. The high F-score of the label with a high sample size significantly raised the weighted F-score value. Therefore, the model performances were compared using the macro F-score, represents the average of F-score values. The impact of data balancing and parameter optimization processes on the prediction performance of machine learning methods is shown in Table 7. As a result of the analysis, it was observed that the methods with the highest prediction performance were XGBoost, SVM, Extra Trees, Gradient Boosting, and Random Forest, respectively.

Table 7. Evaluation of Data Balancing and Hyperparameter Optimization Methods (Tablo 7. Hiperparametre ve veri dengeleme yöntemlerinin değerlendirilmesi)

| Performance Improvement Steps | Metrics | SVM | Extra Trees | Random Forest | Gradient Boosting | XGBoost |
|--|---------------|-------------|-------------|---------------|-------------------|-------------|
| Original | accuracy | 0.76 | 0.76 | 0.77 | 0.76 | 0.76 |
| | macro F-score | 0.58 | 0.61 | 0.62 | 0.61 | 0.61 |
| Improvement Step 1: Smote | accuracy | 0.76 | 0.76 | 0.76 | 0.75 | 0.75 |
| | macro F-score | 0.67 | 0.66 | 0.64 | 0.64 | 0.65 |
| Improvement Step 2: Smote + Grid Search | accuracy | 0.76 | 0.78 | 0.75 | 0.76 | 0.78 |
| | macro F-score | 0.69 | 0.68 | 0.64 | 0.65 | 0.70 |

According to the results presented in Table 7, the XGBoost method has the highest prediction performance percentage. Therefore, it is expected that the XGBoost algorithm will provide a more successful basis in accident prediction models. The performance of the XGBoost method, which reached a macro F-score value of 70% through all the performance improvement steps, was also examined in terms of class labels. When data balancing and hyperparameter tuning methods were applied together, improvements were observed in the prediction accuracy of Burns and frostbite label by 10%, wounds and superficial injuries label by 1%, poisoning and infections label by 5%, dislocations, sprains, strains and bone fractures label by 4% and shock label by 12% (Figure 8).

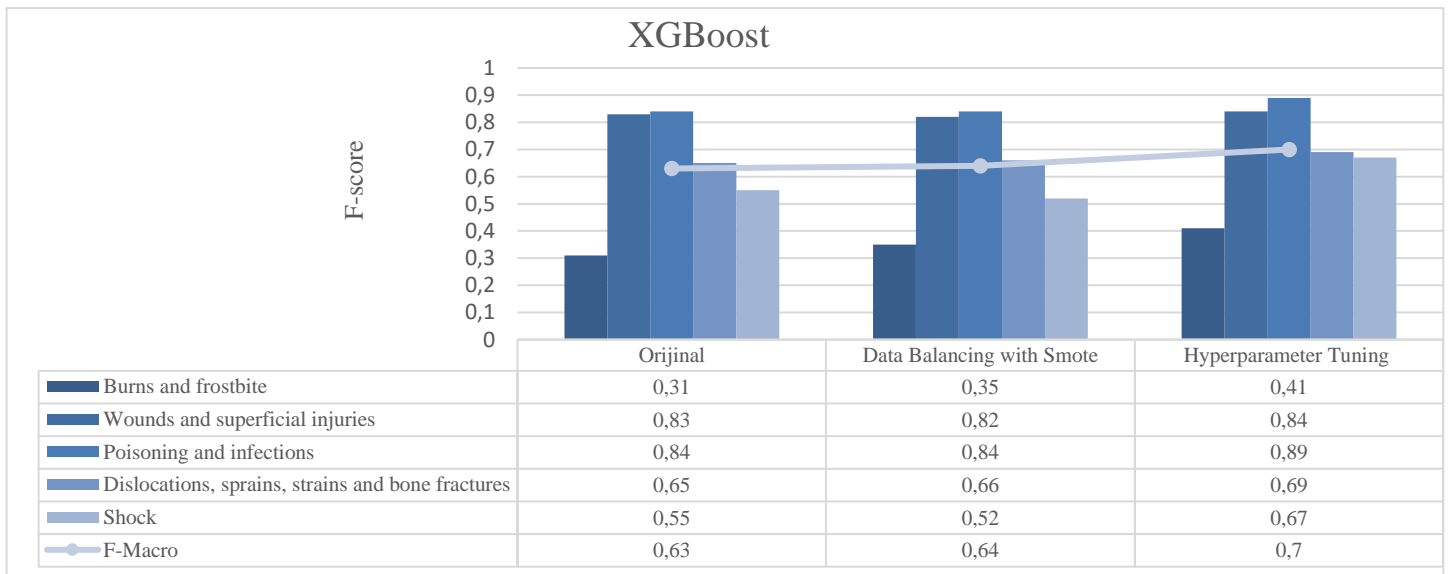


Figure 8. Success of the XGBoost model to predict injury types (Şekil 8. XGBoost modelinin yara türlerini tahmin etme başarısı)
e-ISSN: 2148-2683

4. Conclusions and Recommendations

In this study, risk factors for controlling occupational accidents were analyzed using data mining methods based on accident data from textile sector workplaces in 2019-2021, and the performance of models that would form the basis of accident prediction models was evaluated. In this context, an accident dataset was created from occupational accidents in the textile sector workplaces. The accident dataset was transformed into a more trainable and testable dataset for machine learning by applying data analysis methods. As a result of the analyses, the pandemic process, which was found to have a misleading effect, was excluded from the dataset. Therefore, the scope of the study was limited to occupational accidents that occurred between January 2019 and March 2020, inclusive. Then, machine learning methods that were most suitable for the dataset and the purpose of the study were selected. Through data balancing and hyperparameter optimization, machine learning models have been enabled to interpret the dataset with better performance. As a result of the studies, it was seen that the XGBoost algorithm was the best machine learning algorithm to interpret the dataset. Through experiments with 5-fold cross-validation and 2 repetitions, it was revealed that the XGBoost method performs with a success rate of 70%. SVM (69%) and Extra Trees (68%) algorithms also achieved a good level of performance in interpreting the dataset, close to that of the XGBoost algorithm.

The imbalanced distribution of the type of injury labels has caused a low macro F-score value, which was chosen as the performance metric. Both the preprocessing steps in the dataset and the data balancing and hyperparameter tuning methods used in the prediction model generation have improved the macro F-score value to better levels. The SVM algorithm has increased its macro F-score value from 58% to 69%, the Extra Trees algorithm has increased its macro F-score value from 62% to 68%, the Random Forest algorithm has increased its macro F-score value from 62% to 64%, the Gradient Boosting algorithm has increased its macro F-score value from 61% to 65% and the XGBoost algorithm has increased its macro F-score value from 63% to 70%. The prediction performance values of the XGBoost algorithm for output labels are calculated as follows: 89% for poisoning and infections, 84% for wounds and superficial injuries, 69% for dislocations, sprains, strains, and bone fractures, 67% for shock, and 41% for burns, scalding with hot water and frostbite. When the sample sizes and success values were evaluated together, it was observed that the poisoning and infections label had a high prediction success rate, although it was tested with few samples.

According to studies, it has been observed that the XGBoost algorithm performs better compared to other algorithms for datasets with imbalanced distribution. It has also been determined that data balancing and hyperparameter optimization methods are crucial in terms of prediction success for such data sets. As a result, it is understood that an accident prediction model created by data mining steps can be used to identify significant risks that may occur in the textile industry. With the accident prediction model, injury types resulting from accidents in workplaces operating in the textile industry can be predicted based on basic criteria related to employees and work processes. Predicting injury types will contribute to identifying hazardous situations and creating risk maps for textile sector workplaces. Therefore, with the widespread use of accident prediction models, it is expected that occupational safety and health (OSH) personnel in workplaces will take proactive measures against potential accidents and a decrease in the number and severity of occupational accidents will be seen. In future studies, researchers can enhance the findings of this study by expanding the dataset with universal data to develop a more comprehensive accident prediction model. In addition, future studies can focus on the development of real-time monitoring systems that can detect hazardous situations and alert workers and managers in the textile industry. These systems can use machine learning algorithms to analyze data from the workplace and identify potential risks before they lead to accidents.

5. Acknowledge

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial or non-profit sectors.

References

- Santos A.J.R. (2021, February 11). Learning from work-related accidents [Conference presentation]. Towards safe, healthy and declared work in Ukraine – ILO, Ukraine. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---europe/---ro-geneva/---sro-budapest/documents/genericdocument/wcms_769666.pdf
- Güllüoğlu, E. N. & Taçgın, E. (2018). Türkiye Tekstil Sektöründe İstihdam ve İş Kazalarının Analizi. *Tekstil ve Mühendis*, 25(112), 344-354. <https://doi.org/10.7216/1300759920182511208>
- Çakmak H. (2019). Analysis of current occupational accidents raw data by data mining process (Publication No. 614088) [Master's dissertation, Gazi University]. Ulusal Tez Merkezi.
- Recal, F. & Demirel, T. (2021). Predicting accident severity with machine learning. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 40, 10981–10998. doi:10.3233/JIFS-202099
- Recal F. (2022). Creating a decision support framework from national occupational accidents data with machine learning approach (Publication No. 743913) [Doctoral dissertation, Yıldız Teknik University] Ulusal Tez Merkezi.
- Cheng C. W., Yao H. Q. & Wu T. C. (2013). Applying data mining techniques to analyze the causes of major occupational accidents in the petrochemical industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(6), 1269-1278. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2013.07.002>
- Gül M., Guneri A.F., Yılmaz F. & Celebi O. (2016). Analysis of the relation between the characteristics of workers and occupational accidents using data mining. *The Turkish Journal of Occupational / Environmental Medicine and Safety*, 1(4), 102-118.
- Çakır E. (2019). Workplace hazards and occupational risks: A research on occupational accidents aboard merchant ships (Publication No. 564634) [Doctoral dissertation, Dokuz Eylül University]

- Ayanoğlu C. & Kurt M. (2019). Proposal of an occupational accident forecasting model with data mining methods in metal sector. *Ergonomi*, 2(2), 78–87. doi: <https://doi.org/10.33439/ERGONOMI.481861>
- Choi J., Gu B., Chin S. & Lee J.S. (2020). Machine learning predictive model based on national data for fatal accidents of construction workers. *Automation in Construction*, 110, 102974. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102974>
- Koc K., Ekmekcioğlu Ö. & Gurgun A.P. (2021). Integrating feature engineering, genetic algorithm and tree-based machine learning methods to predict the post-accident disability status of construction workers. *Automation in Construction*, 131, 103896. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103896>
- Kakhki FD., Freeman SA. & Mosher G.A. (2019). Evaluating machine learning performance in predicting injury severity in agribusiness industries. *Safety Science*, 117, 257-262. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.04.026>
- Mathews D.G. (2016). Data Mining and Machine Learning Algorithms for Workers' Compensation Early Severity Prediction. [Master's dissertation, Middle Tennessee State University]
- Khairuddin M.Z.F., Hui P.L., Hasikin K., Razak N.A.A., Lai K.W., Saudi A.S.M. & Ibrahim S.S. (2022). Occupational Injury Risk Mitigation: Machine Learning Approach and Feature Optimization for Smart Workplace Surveillance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 13962. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph192113962>
- Yang L. & Shami A. (2020). On hyperparameter optimization of machine learning algorithms: Theory and practice. *Neurocomputing*, 415, 295-316. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.07.061>
- Sarkar S., Vinay S., Raj R., Maiti J. & Mitra P. (2019). Application of optimized machine learning techniques for prediction of occupational accidents. *Computers & Operations Research*, 106, 210-224. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.02.021>
- Wu J., Chen X.Y., Zhang H., Xiong L.D., Lei H. & Deng S.H. (2019). Hyperparameter Optimization for Machine Learning Models Based on Bayesian Optimization. *Journal of Electronic Science and Technology*, 17(1), 26-40. <https://doi.org/10.11989/JEST.1674-862X.80904120>
- Shekar B.H. & Dagnev G. (2019). Grid Search-Based Hyperparameter Tuning and Classification of Microarray Cancer Data [Conference presentation]. Second International Conference on Advanced Computational and Communication Paradigms (1-8), Gangtok, Hindistan. doi:10.1109/ICACCP.2019.8882943
- Sarkar S., Khatedi N., Pramanik A. & Maiti J. (2019). *An Ensemble Learning-Based Undersampling Technique for Handling Class-Imbalance Problem*. Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer.
- Bulut F. (2016). Performance Analysis of Ensemble Methods on Imbalanced Datasets. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 9(2), 153-159. doi: 10.17671/btd.81137
- Koc K. & Gurgun A.P. (2022). Scenario-based automated data preprocessing to predict severity of construction accidents. *Automation in Construction*, 140, 104351. doi: <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2022.104351>
- Fernández A., García S., Herrera F. & Chawla N.V. (2018). SMOTE for Learning from Imbalanced Data: Progress and Challenges, Marking the 15-year Anniversary. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 61, 863-905. doi: <https://doi.org/10.1613/jair.1.11192>
- Li Z., Liu P., Wang W. & Xu C. (2012). Using support vector machine models for crash injury severity analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 478-486. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.08.016>
- Sánchez A.S., Fernández P.R., Lasheras F.S., Juez F.J. & Nieto P.G. (2011). Prediction of work-related accidents according to working conditions using support vector machines. *Applied Mathematics and Computation*, 218(7), 3539-3552. doi: <https://doi.org/10.1016/j.amc.2011.08.100>
- Yang Y., Li J., & Yang Y. (2015). The research of the fast SVM classifier method. In 2015 12th international computer conference on wavelet active media technology and information processing (ICCWAMTIP), Chengdu, China, 121-124.
- Baby D., Devaraj S. J., & Hemanth J. (2021). Leukocyte classification based on feature selection using extra trees classifier: A transfer learning approach. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 29(8), 2742-2757. doi: 10.3906/elk-2104-183
- Abhishek L. (2020). Optical character recognition using ensemble of SVM, MLP and extra trees classifier. In 2020 International Conference for Emerging Technology (INCET), Belgaum, India, 1-4.
- Bahad P. & Saxena P. (2020). Study of adaboost and gradient boosting algorithms for predictive analytics. In International Conference on Intelligent Computing and Smart Communication 2019: Proceedings of ICSC 2019, Singapore, 235-244.
- Parsa A. B., Movahedi A., Taghipour H., Derrible S. & Mohammadian A. K. (2020). Toward safer highways, application of XGBoost and SHAP for real-time accident detection and feature analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 136, 105405. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.105405>
- Friedman J.H. (2001). Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *The Annals of Statistics*, 29(5), 1189-1232. doi: 10.1214/aos/1013203451
- Dhaliwal S.S., Nahid A.A. & Abbas R. (2018). Effective intrusion detection system using XGBoost. *Information*, 9(7), 149. doi: <https://doi.org/10.3390/info9070149>
- Samur O. (2020). Boosting Algorithms. Retrieved from <https://www.datascienceearth.com/boosting-algoritmaları/>
- Çelik H.İ., Dülger L.C., Öztaş B., Kertmen M. & Gültekin E. (2022). A Novel Industrial Application of CNN Approach: Real Time Fabric Inspection and Defect Classification on Circular Knitting Machine. *Textile and Apparel*, 32(4), 344-352. doi: <https://doi.org/10.32710/tektstilvekonfeksiyon.1017016>
- G.M. Weiss. (2004). Mining with rarity: a unifying framework. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 6 (1), 7-19. doi: <https://doi.org/10.1145/1007730.1007734>
- Fernández A., López V., Galar M., Del Jesus M. J. & Herrera F. (2013). Analyzing the classification of imbalanced data-sets with multiple classes: Binarization techniques and ad-hoc approaches. *Knowledge-based systems*, 42, 97-110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.knsys.2013.01.018>

- Pir M. Ş. (2022). Dengesiz Veri Setlerinde Sınıflandırma Problemlerinin Çözümünde Melez Yöntem Uygulaması. (Publication No. 720846) [Doctoral dissertation, Bursa Uludağ University]
- Ranjan G. S. K., Kumar Verma A. and Radhika S. (2019). K-Nearest Neighbors and Grid Search CV Based Real Time Fault Monitoring System for Industries. In 2019 IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT). Pune, India.



Türkçe Nefret Söylemi Problemi Analizinde Farklı Sınıflandırma Algoritmalarının Ve Özellik Seçimi Yöntemlerinin Performans Karşılaştırması

Özlem Yakar^{1*}, Büşra Büyüktanır², Abdullah Emir Çil³, Ayşe Berna Altınel Girgin⁴

^{1*} Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9346-7325), ozlemyakar@marun.edu.tr

² Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2571-4029), busra.buyuktanir@marmara.edu.tr

³ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7632-2389), acil@marun.edu.tr

⁴ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5544-0925), berna.altinel@marmara.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 9 Ekim 2023 ve Kabul Tarihi 17 Aralık 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10646678)

ATIF/REFERENCE: Yakar, Ö., Büyüktanır, B., Çil, A.E. & Altınel Girgin, A.B. (2024). Türkçe Nefret Söylemi Problemi Analizinde Farklı Sınıflandırma Algoritmalarının Ve Özellik Seçimi Yöntemlerinin Performans Karşılaştırması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (53), 97-111.

Öz

Günümüzde teknolojinin gelişmesine bağlı olarak sosyal medya kullanımı ve sosyal medya ağlarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum, sosyal medyada nefret söylemi içeriklerinin sayıca artması ve buna bağlı olarak bu içeriklerin paylaşılması anlamına gelmektedir. Sosyal medya kullanıcılarını olumsuz yönde etkileyen bu paylaşımların önüne geçebilmek adına kamu otoriteleri ve sosyal medya geliştiricileri tarafından alınan önlemler yetersizdir. Bu sebeple, hacimce büyük miktarda üretilen nefret söylemi içeriklerinin tespitini kolaylaştıran otomatik sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Öte yandan, İngilizce ve diğer pek çok dilde yapılan çalışmalar incelendiğinde, Türkçe'de nefret söylemi içeriklerinin tespitinde yeterli düzeyde çalışmaya henüz varılamamıştır. Mevcut çalışmalar incelendiğinde ise, küçük boyutta veri kümesi kullanımı, özellik seçim yöntemlerinin azlığı ve sınıflandırma algoritmalarının benzerliği görülmüştür. Literatürde bahsedilen tüm bu eksikliklerin giderilmesi için, bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, Türkçe dilinde farklı boyutlarda iki adet tweet veri kümesi (veri kümesi_1k, veri kümesi_2k) kullanılmıştır. Öncelikle veri kümesi üzerinde beş farklı özellik seçimi algoritması uygulanarak özellik sayısı 1.000'e düşürülmüştür. Daha sonra nefret söylemi tespiti için, her bir özellik seçiminden elde edilen 1.000 özellik üzerinde sırası ile makine öğrenmesi algoritmalarından K-En Yakın Komşu (KNN), Rasgele Orman (RF), Naive Bayes (NB), Destek Vektör Makinesi (SVM), Uzun Kısa-Süreli Bellek (LSTM) ve Word2Vec+SVM yöntemleri uygulanmıştır. Deneysel sonuçlarda, başarı ölçütü olarak F-ölçüm değeri kullanılmıştır. Veri kümesi_1k için en iyi sonucu %88,81 F-ölçüm oranıyla OneR özellik seçimi ile NB algoritması vermiştir. Veri kümesi_2k için en iyi sonucu %87,71 F-ölçüm oranıyla Info-Gain özellik seçimi ile NB algoritması vermiştir. Beş farklı özellik seçimiyle yapılan deneylerde, LSTM algoritması diğer tüm algoritmalara göre daha başarılı olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Türkçe nefret söylemi tespiti, Siber zorbalık, Türkçe tweetler, Makine öğrenmesi, LSTM.

Performance Comparison Of Different Classification Algorithms And Feature Selection Methods In Turkish Hate Speech Problem Analysis

Abstract

Today, due to the development of technology, use of social media and the number of social media networks are increasing day by day. This means that the number of hate speech contents on social media increases and, accordingly, these contents are shared. The measures taken by public authorities and social media developers to prevent these posts that negatively affect social media users are insufficient. For this reason, automatic systems that facilitate the detection of hate speech content produced in large quantities are needed. On the other hand, when studies conducted in English and many other languages are examined, sufficient studies have not been achieved yet in detecting hate speech content in Turkish. When existing studies are examined, use of small datasets, scarcity of feature selection methods and similarity of classification algorithms are seen. This study is carried out to eliminate all these

* Sorumlu Yazar: ozlemyakar@marun.edu.tr ; ozlemyakar.34@gmail.com

deficiencies mentioned in the literature. Within the scope of the study, two tweet datasets of different sizes in Turkish (dataset_1k, dataset_2k) are used. First of all, five different feature selection algorithms are applied on these datasets and the number of features is reduced to 1,000. Then, machine learning algorithms are used on 1,000 features obtained from each feature selection to detect hate speech. These algorithms are K-Nearest Neighbor (KNN), Random Forest (RF), Naive Bayes (NB), Support Vector Machine (SVM), Long Short-Term Memory (LSTM) and Word2Vec+SVM methods, respectively. In experimental results, F-measurement value is taken as a criterion of success. In the experimental results, F-measure is used as the performance metric. NB algorithm with OneR feature selection is achieved the best result for Dataset_1k with an F-measure of 88.81% . NB algorithm with Info-Gain feature selection is achieved the best result for Dataset_2k with an F-measure of 87.71% . It has been observed that LSTM algorithm is more successful than all other algorithms in the experiments with five different feature selections.

Keywords: Turkish hate speech detection, Cyberbullying, Turkish tweets, Machine learning, LSTM.

1. Giriş

Günümüzde iletişim yöntemleri sürekli bir değişim halindedir. İletişim, teknolojideki gelişmelere paralel olacak şekilde sosyal medya tarafına doğru ilerlediği söylenebilir. Yeni iletişim kanallarından olan sosyal medya araçları, insanlara hem olumlu biçimde hem de olumsuz biçimde yorumlar şeklinde geri dönmektedir. Bu yorumlardan en çok göze çarpan kısım "nefret söylemi"dir. Nefret söylemi, günlük hayatta ya da dijital teknolojiler kullanılarak gerçekleştirilen bir zorbalık türüdür. Nefret söyleminde, insanların günlük hayatta ifade etmekte zorlandığı ya da ifade ettiğinde fazla tepki alacağını düşündüğü söylemleri, gerçek kimliğini kullanarak veya gizli bir kimliğe (nickname) bürünerek ifade edilmektedir. Nefret söylemini oluşturan ifadeler, belli bir dereceye kadar söyleyenin kişisel düşüncesini oluşturmaktadır. Bu düşüncelerde nefret söylemi ifadelerinin tespiti için bir arka plan bilgisi gerekir. Sosyal medyada nefret söylemi içerikleri sürekli üretilmekte ve farklı sosyal medya araçları tarafından hızla yayılarak daha büyük kitlelere erişimi sağlanmaktadır. Nefret söylemi içerikleri, hedef alınan kişileri korkutmaya, sinirlendirmeye, kızdırmaya veya utandırmaya yönelik yapılmış olan davranışlardır. Bu davranışlar başkalarının duygularına olumsuz bir biçimde hitap etme şekli ile kendini gösterir. Genellikle çocukların ve gençlerin hedef haline getirildiği nefret söylemleri, bu ifadelerle maruz kalan farklı kişileri de olumsuz şekilde etkilemektedir. Dolayısıyla, iletişim açısından sosyal medyada yapılan etkileşimler, birçok açıdan olumsuz paylaşımların ortaya çıkmasına neden olur. Bu paylaşımlar arasında, çok sayıda nefret söylemi içeriklerinin üretimi de nefret söylemindeki artışın en önemli sebepleri arasında gösterilmektedir.

Bu çalışmada, sosyal medyadaki Türkçe nefret söylemi problemleri üzerinde bazı özellik seçimleri ve makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak eğitilen modellerin performans karşılaştırması yapılmıştır. Model eğitiminde, iki farklı veri kümesi kullanılmıştır. Modeldeki verilerin etiketlenmesi "nefret söylemi", "saldırgan ifade" ve "hiçbiri" şeklinde üç sınıfa ayrılmıştır. Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: 2. Bölüm'de, literatürde sosyal medyada yer alan Türkçe dilinde nefret söylemleri üzerinde yapılan çalışmalar incelenmiştir. 3. Bölüm'de, deneylerde kullanılan veri kümelerine dair metrikler ve algoritmalar anlatılmıştır. 4. Bölüm'de, deneylerin sonuçları özetlenmiş ve bu sonuçlara göre değerlendirme yapılmıştır. Son olarak 5. Bölüm'de ise, çalışmanın sonuçları tek çatı altında toplanarak çalışma hakkında genel çıkarımlarda bulunulmuştur.

2. Literatür Taraması

Sosyal medya kullanım oranının artması ve kullanıcılarına her türlü düşünceyi paylaşma imkânı sağlaması, içerik üretimini artırmıştır. Artan içerikler arasında nefret söylemini barındıran ifadeler de yer almaktadır. Kamu ve sosyal medya geliştiricileri, artan nefret söylemi içeriklerine dair önlemler almaya çalışmaktadır. Fakat üretilen içerik hacmi çok büyük olduğu için alınan önlemler yetersiz kalmaktadır. Bunun yanında, nefret söylemi içeriklerine dair otomatik sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, bu alanda Türkçe dili üzerinde kapsamlı bir çalışma da mevcut değildir. Tüm bu ihtiyaçlar göz önüne alındığında, literatürdeki bu eksiklikleri kapatmak ve duyulan ihtiyaca karşılık vermek adına, bu bölümde Türkçe dilinde yapılan nefret söylemlerine dair çalışmalar incelenmiştir.

2021 yılında Mayda ve ark. (Mayda, 2021) yapmış olduğu çalışma, geliştirilen bu çalışma için örnek olarak alınmıştır. Çalışma kapsamında, öncelikle KNIME aracı kullanılarak 1.000 adet Türkçe tweet toplanmış ve veri kümesi oluşturulmuştur. Ardından iki değerlendirmeci tarafından veriler etiketlenmiştir. Etiketlenen veriler "nefret söylemi", "saldırgan ifade" ve "hiçbiri" şeklinde üç sınıftan oluşmaktadır. Verileri etiketlemede kararsız kalındığında, sağlıklı bir sonuç üretebilmek adına üçüncü bir değerlendirmecinin görüşü alınmıştır. Etiketli veri kümesi başka çalışmalarda kullanılabilmesi adına açık kaynak olarak paylaşılmıştır. Oluşturulan veri kümesi üzerine Karar Ağacı (J48), NB, RF ve Sıralı Minimal Optimizasyon (SMO) olmak üzere dört farklı makine öğrenmesi algoritması uygulanmıştır. WEKA aracı kullanılarak testler gerçekleştirilmiş ve başarı ölçütü olarak F-ölçüm değeri dikkate alınmıştır. En başarılı performansı %79,9 F-ölçüm değeriyle SMO algoritması vermiştir.

Dinçer ve ark. (Dinçer, 2022), sosyal medya platformlarındaki nefret söylemlerinin tespitine dair bir çalışma yapmıştır. Veriler için Twitter uygulaması kullanılmış ve Python'un Tweepy kütüphanesi ile veriler çekilmiştir. Kullanılan veri kümesi toplamda 3.001 adet veriden (1.503 adeti nefret söylemi içeren ve 1.498 adeti nefret söylemi içermeyen tweetler) oluşmaktadır. Yapılacak olan yeni yorumlarda nefret söylemi tespiti için makine öğrenmesi algoritmalarından SVM, NB ve Lojistik Regresyon (LR) kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucuna bakıldığında, nefret söylemi tespitini iyileştirdiği görülmüştür. Kullanılan algoritmalar doğruluk (accuracy), hassasiyet (recall), kesinlik (precision) ve F1-skor (F1-score) bakımından incelendiğinde, bu yöntemlerden en iyi performansı %87 doğruluk oranı ile LR algoritması göstermiştir.

Beyhan ve ark. (Beyhan, 2022) tarafından yapılan çalışmanın amacı, Türkiye'de yaygın olan toplumsal sorunlara ilişkin tweetlerdeki nefret söyleminin değerlendirilmesidir. Çalışmada, Twitter'daki görünürlüğünün hacim olarak yüksek olması nedeniyle İstanbul Sözleşmesi ve Türkiye'deki mültecilere karşı tutumlar ele alınmıştır. Türkçe nefret söyleminin otomatik tespiti için bir makine öğrenmesi kullanılarak iki ayrı alanda toplanan (İstanbul Sözleşmesi veri kümesi ve Mülteciler veri kümesi) tweetlerden oluşan bir nefret söylemi veri kümesi sunulmuştur. İstanbul Sözleşmesi veri kümesi, Türkiye'nin İstanbul Sözleşmesi'nden çekilmesinin ardından atılan tweetlerden oluşmaktadır. Mülteciler veri kümesi ise, göçmenlerle ilgili tweetlerin, göçmenlere dair yaygın olarak kullanılan anahtar kelimelere göre filtrelenerek toplanmasıyla oluşturulmuştur. Twitter'daki ek açıklamaları toplamak için, veri kümesi toplama aracı olarak, açık kaynak kodlu LabelStudio açıklama aracı kullanılmıştır. Veri kümeleri incelendiğinde, İstanbul sözleşmesi veri kümesi için, Türkiye'nin İstanbul Sözleşmesi'nden çekildikten sonra 20-25 Mart 2021 arasındaki beş güne ait tweetler esas alınmıştır. Bu süre boyunca en çok konuşulan konularda 284.989 tweet toplanmıştır ve veri kümesiyle ilgisiz olanlar çıkarıldıktan sonra yaklaşık 10.000 tweet ile işlem yapılmıştır. Mülteci veri kümesi için, Ocak 2020-Eylül 2021 tarihleri arasında Twitter Academic API kullanılarak göçmenlerle ilgili tweetler toplanmıştır. Göçmenlerle ilgili yaygın olarak kullanılan mülteci (refugee), göçmen (immigrant) ve Suriyeli (Syrian) gibi anahtar kelimeleri esas alınmıştır. Çalışmanın sonucunda, toplanan veri kümesi için BERTurk dönüştürücü (transformer) mimarisi kullanılarak bir nefret söylemi tespit sistemi geliştirilmiştir. İstanbul Sözleşmesi veri kümesi 5-katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. İkili sınıflandırma doğruluğunda (binary classification accuracy), İstanbul Sözleşmesi veri kümesi için %77 ve Mülteci veri kümesi için %71 doğruluk oranları elde edilmiştir. Ayrıca, İstanbul Sözleşmesi ve Mülteciler veri kümeleri için [0-4] ölçeğinde 0,66 ve 0,83 Kök Ortalama Kare Hatası (Root Mean Squared Error – RMSE) regresyon modeli de kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir.

Kuş'un (Kuş, 2021) yaptığı çalışma, Covid-19 salgını müddetince, mültecilere yönelik yapılmış olan dijital nefret söylemlerinin incelenmesi üzerinedir. YouTube platformunda Covid-19 konusunda mültecileri hedef gösteren videoların yorum kısmına yazılmış olan YouTube kullanıcı yorumları Facepacer uygulaması ile toplanarak veri kümesi oluşturulmuştur. Nefret söylemi barındıran kullanıcı yorumları dikkate alındığında, veri kümesi "Amaca Yönelik Nefret Söylemi", "Hedef Ülkenin Dokunulmazlığı", "Kişisel Tercih ve Özelliklere Yönelik Nefret Söylemi" ve "Diğer" etiketleriyle veri kümesi sınıflandırılmıştır. Ayrıca, nefret söylemi içeriğine sahip yorumların sözel yansıması da bir ağ haritasıyla bu çalışmada görselleştirilmiştir. Veriler analiz edilirken, içerik analizi yöntemi ve metin madenciliği metotlarından yararlanılmıştır. Verilerin ön işleme, ayıklanması ve algoritması için eğitim setinin oluşturulması aşamasında Microsoft Excel, Google Sheets ve KNN sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Sözcüklerin sayımı için Rapidminer Studio, eğitim setinin güvenilirliğinin hesaplanması için ağ haritası ile SPSS 21 ve tasarlama kısmında ise Gephi 0.9.2 kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde, sınıflandırmadaki etiketlere göre dağılımlar Nefret Söylemi İçeren Yorumların Kategorik Dağılımına göre; Hedef Ülkenin Dokunulmazlığı (%50), Kişisel Tercih ve Özelliklere Yönelik Nefret Söylemi (%17), Amaca Yönelik Nefret Söylemi (%13) ve Diğer (%20) şeklindedir.

Karayığit ve ark. (Karayığit, 2021) yaptığı çalışmada, nefret söylemli Instagram yorumlarını tespit etmek için küfürlü ve küfürlü olmayan etiketli Instagram yorumundan oluşan bir veri kümesi (ATC) oluşturularak Evrişimli Sinir Ağları (CNN) ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmıştır. Nefret söylemli yorumları algılamak için yapay sinir ağları tabanlı CNN modeli ile makine öğrenmesi tabanlı SVM, Karar Ağacı (DT), NB, RF, LR, Adaptif Güçlendirme (AdaBoost) ve Aşırı Gradyan Güçlendirme (XGBoost) modelleri karşılaştırılmıştır. Nefret söylemli Türkçe yorumlarından oluşan veri kümesi, 2017–2019 yılları arasında 10.528 küfürlü ve 19.826 küfürlü olmayan Instagram yorumlarından oluşmaktadır. Veri kümesi toplama aracı olarak Python kullanılmış ve çalışmadaki veri kümesi oluşturulmuştur. Oluşturulan ATC veri kümesi için, sınıf sayılarını eşitlemede aşırı örnekleme metodu (Over-sampling method) kullanılarak bir versiyonu oluşturulmuştur. Özellik seçimi ve ağırlıklandırma için Terim Frekansı-Ters Belge Frekansı (TF-IDF) metotlarından Kelime Çantası (Bag of Words – BoW), bigram ve trigram algoritmaları ile kelime yerleştirme için Byte-Çifti Kodlama (BPE), Word2Vec ve BERT modelleri kullanılmıştır. Deney aşamasında, CNN algoritmasıyla kelime yerleştirme modellerinin kombinasyonlarının oluşturulduğu ve makine öğrenmesi algoritmalarıyla TF-IDF modellerinin kombinasyonlarının oluşturulduğu modeller hem orijinal ATC hem de aşırı örnekleme ATC veri kümesi üzerinde uygulanmıştır. Deney sonuçlarında, 0,974 ile mikro ortalamalı F1 puanı, 0,973 ile makro ortalamalı F1 puanı ve 0,946 Kappa değeri ile aşırı örnekleme ATC veri kümesinde CNN modelinin en iyi sonuca ulaştığı görülmüştür. Böylece, makine öğrenmesi modellerinden CNN modelinin en iyi performansa ulaştığı söylenebilir.

Karayığit ve ark. (Karayığit, 2022) çalışması, sosyal medyadaki Türkçe yorumlarının homofobik ya da cinsiyetçi, ağır aşağılama ve dışlama ifadeleri gibi nefret yorumlarını içerip içermediğinin tespiti için yapılmıştır. Burada, önceden eğitilmiş Çok Dilli M-BERT algoritması kullanılmıştır. Veri kümesi, Instagram'dan alınan yorumlarla oluşturularak nefret ifadesi tespitinde modelleri eğitmek için kullanılmıştır. Deneylerde resHATC ve orijinal HATC olmak üzere veri kümelerinin iki formu kullanılmıştır. Homofobik-Küfürlü Türkçe Yorumlar (HATC) ve Kötü Amaçlı Türkçe Yorumlar (ATC) veri kümeleri birleştirilerek, uygulamalarda kullanılmak üzere dengeli bir veri kümesi elde edilmiştir. Araştırmacılar tarafından toplanan HATC veri kümesi 10.237 nefret dolu, 1.226 homofobik ve 19.827 nötr Instagram yorumlarından oluşmaktadır. Uygulamalarda M-BERT modeli, derin öğrenme tabanlı modeller (LSTM, Çift Yönlü Uzun Kısa-Süreli Bellek (BiLSTM), Kapılı Tekrarlayan Birim (GRU)), makine öğrenmesi tabanlı modeller (SVM, NB, RF) ve Topluluk Sınıflandırıcıları (AdaBoost, XGBoost, GBoost) kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Burada en iyi sonucu bulmak için, algoritma modellerinin performansında F1 puanı (F1-score), kesinlik (precision) ve duyarlılık (recall) performans ölçütleri dikkate alınmıştır. En iyi performansı HATC veri kümelerindeki (homofobik F1 puanı: %82,64 , nefret dolu F1 puanı: %91,75 , nötr F1 puanı: %96,08 , ortalama F1 puanı: %90,15) M-BERT modelinin verdiği görülmüştür.

Başka kişi veya kurumların itibarını zedeleyici, kızdırıcı, rahatsız edici, utandırıcı, algı oluşturucu yazı, ses, video ve fotoğraflar gibi kişiler üzerinde olumsuz etki bırakan, dijital ortamlar ve sosyal medya aracılığıyla rahatsızlık veren tüm eylemlere siber zorbalık denilmektedir. Siber zorbalık ve nefret söylemi arasında sıkı bir ilişki vardır. Siber zorbalık, bir tür nefret söylemidir. İnternet ve sosyal medya platformları, insanların anonimlik duygusuyla hareket etmesine ve düşüncelerini açıkça ifade etmesine olanak

tanılmaktadır. Bu da insanların nefret söylemi içerikli mesajlar yayınlamasına veya siber zorbalık yapma olasılığına yol açmaktadır. Bu sebeple, çalışma kapsamında yapılan literatür taramasında, sosyal medyada Türkçe dilinde yapılan siber zorbalığa yönelik çalışmalar da incelenmiştir.

Yazgılı ve ark. (Yazgılı, 2021), siber zorbalık tespiti için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, 3.000 adet cümleden (1.503 tane siber zorbalık içeren ve 1.497 tane siber zorbalık içermeyen veriler) oluşan hazır Türkçe veri kümesini kullanmışlardır. Veri kümesi toplama aracı olarak Kaggle sitesinden yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında Yapay Sinir Ağı (ANN), C4.5 Ağacı (C4.5 Tree), Bagging, Boosting, Gradyan Güçlendirme (GBoost), XGBoost, SVM, KNN, K-Means, NB, LR, RF ve Stokastik Gradyan Azaltma (Stochastic Gradient Descent) algoritmaları kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlardan, %88,35 başarı oranı ile LR algoritması en yüksek sonucu vermiştir. Kullanılan veri kümesinin yeni olması ve çok sayıda algoritma ile test yapılması çalışmanın özgün yanını ortaya koymaktadır.

Özellikle Kovid-19 salgınından sonra internette daha fazla vakit geçirilmesi ve işlenen suçun caydırıcılığının olmaması düşüncesi siber zorbalığın artmasına sebep olmuştur. Bingöl ve Yıldırım (Bingöl, 2021), artan siber zorbalığın durdurulması ve mağduriyetin önüne geçilmesi adına metin madenciliği ve yapay zekâ yöntemlerini kullanarak siber zorbalık tespiti yapan model geliştirmiştir. Model eğitimi için Twitter'dan elde edilen Türkçe dilinde veri kümesi kullanılmıştır. Veri kümesi toplama aracı olarak açık kaynak kodlu GitHub platformu üzerinden sunulmuştur. Veri kümesi, 11.111 adet etiketli Türkçe tweetten oluşmaktadır. Veri kümesi üzerine metin ön işleme adımları uygulandıktan sonra yedi farklı yapay zekâ algoritması kullanılmıştır. NB, LR, J48, AdaBoostM1, BayesNet, SMO ve JRip algoritmaları ile model eğitimi gerçekleştirilmiş ve deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel sonuçlara göre, %77-%92 aralığındaki doğruluk oranıyla en iyi sonuçları LR, J48 ve BayesNet algoritmalarının verdiği görülmüştür.

Yılmaz ve ark. (Şahiner Yılmaz, 2021), sosyal medya üzerinde saldırgan dil kullanımı ile siber zorbalığa maruz kalan kullanıcılar için çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada saldırgan dil tespiti için iki adet veri kümesi kullanılmıştır. Birinci veri kümesi, Türkçe dilinde Twitter üzerinden toplanan 31.756 tweetten (6.131 adet "saldırgan" ve 25.625 adet "saldırgan değil" etiketli veriler) oluşan OffenseEval yarışma verileridir. İkinci veri kümesi ise Türkçe dilinde Twitter üzerinden toplanan yaklaşık 1 milyona yakın tweetten oluşan etiketsiz veri kümesidir. Çalışmada kelime temsil yöntemi olarak Word2Vec yöntemi kullanılmıştır. Uygulamalarda veri kümesi toplama aracı olarak Python kullanılmıştır. Çalışmanın model eğitimi kısmında BiLSTM ve LSTM algoritmaları kullanılmıştır. Deneysel sonuçlardan, %86 doğruluk oranıyla LSTM algoritması modellerdeki başarı oranını vermektedir.

Nergiz ve Avaroğlu (Nergiz, 2021), Türkçe yorumlar içeren sosyal ağlar üzerinde siber zorbalığın tespiti için LSTM modelini önermektedir. Twitter, Instagram ve Youtube platformlarından elde edilen veri kümesi, 90.000 adet siber zorbalık içeren ve 90.000 adet siber zorbalık içermeyen Türkçe yorumlardan oluşmaktadır. Bu yorumlar, Python programlama dili ve Selenium aracı kullanılarak toplanmıştır. Verilere ön işleme yapmak için Zemberek kütüphanesinden faydalanılmıştır. Kelimeleri sayısal ifadelere çeviren Fasttext için Ngram, Word2Vec için Skip-Gram ve Doc2Vec için PV-DBOW kelime gömme yöntemleri kullanılarak LSTM'nin eğitimi için üç farklı model oluşturulmuştur. Bu modeller sırasıyla Word2Vec, Fasttext ve Doc2Vec için Modeli 1, Modeli 2 ve Modeli 3 olarak isimlendirilmiştir. Sınıflandırma modeli olan LSTM'nin gizli katmanında Sigmoid aktivasyon fonksiyonu, dense katmanında ReLU aktivasyon fonksiyonu, çıktı katmanında Softmax aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre en başarılı modelin %93,15 başarı oranıyla Modeli 2'de LSTM algoritması olduğu gözlemlenmiştir.

Ön ve Yeniterzi (Ön, 2020), Türkçe dilindeki siber zorbalık içeren ifadelerin tespiti için CNN modelini önermiştir. Modelin değerlendirilmesi için CNN ile kurulan modellerin yanında SVM modeli de kullanılmıştır. Veri kümesi hazırlama aşamasında TurkishCyberbullying veri kümesinden yararlanılmıştır. Bu veri kümesi, 3.000 tweetten (1.500 siber zorbalık ve 1.500 siber zorbalık içermeyen tweetler) oluşmaktadır. Ön işleme aşamasında Doğal Dil Araç Seti (Natural Language Toolkit – NLTK) kütüphanesinden yararlanılmıştır. SVM modelinin eğitimi için BoW modeli ile TF-IDF yöntemi kullanılmıştır. Türkçe Vikipedi ile eğitilmiş Word2Vec (KVT1) ve FastText (KVT2) kelime vektör temsilleri ve haber dokümanı ile eğitilmiş FastText kelime vektör temsilleri (KVT3), CNN modellerinin eğitiminde kullanılmak için tercih edilmiştir. Ayrıca, CNN modelinin eğitimi için bu çalışma kapsamında Rastgele kelime temsil modeli de (Random word representation model) eğitimlerde kullanılmıştır. CNN modelinin çıktı katmanında Sigmoid aktivasyon fonksiyonu, ADAM optimizasyon algoritması ve ikili çapraz entropi kayıp fonksiyonu kullanılmıştır. Deney aşamasında, en iyi sonucu CNN Rastgele modeli vermiştir. Kullanılan beş model içerisinde en iyi sonucu veren modeller için Topluluk modeli (Ensemble model) uygulanmıştır. Topluluk modelinin kullanımında, eşitlik olması durumunda CNN Rastgele modelinin sonuçları dikkate alınarak 0,937'lik bir F1-skoruna ulaşılmıştır.

Özçift ve ark. (Özçift, 2019) çalışmasında, Türkçe metinlerde bulunan siber zorbalık ifadelerini tespit eden bir sistem için makine öğrenmesi modelini önermektedir. Önerilen modelin uygulaması için 3.000 tweetten (1.500 siber zorbalık içeren, 1.500 siber zorbalık içermeyen etiketli veriler) oluşan 11.534 öznitelikli TurkishCyberbullying veri kümesi kullanılmıştır. Veri ön işleme aşamasında, veri kümesinin boyutunu azaltmak için Ki-kare Testi (Chi-square Test) uygulanarak öznitelik sayısı 579 kelimeye indirilmiştir. İlgisiz sözcükleri ortadan kaldırmak için TF-IDF yöntemi uygulanmıştır. Model olarak Lojistik Regresyon ile Bayes teoremi kombinasyonundan oluşan Bayesçi Lojistik Regresyon (Bayesçi LR) yöntemi kullanılmıştır. Önerilen modelin parametreleri İzgara Arama algoritması (Grid Search algorithm) kullanılarak optimize edilmektedir. Deney sonucunda, Bayesçi LR algoritmasının F-skoru değeri 0,925 başarı oranı şeklindedir.

Tablo 1’de farklı sosyal medya araçlarında Türkçe nefret söylemine yönelik literatürde yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Tablo 1. Sosyal medyada nefret söylemlerini tespit etmeye yönelik önceki çalışmalar (Table 1. Previous studies on detecting hate speech on social media)

| Çalışma | İlgili Konu | Uygulama Alanı | Veri Kümesi Boyutu | Veri Kümesi Toplama Aracı | Kullanılan Yöntem | En Başarılı Model | Başarı Oranı |
|--------------------------|---|----------------|--|---------------------------------|--|--------------------------------|---|
| Mayda ve ark. (2021) | Türkçe nefret söylemi tespiti | Twitter | 1.000 adet Türkçe tweet | KNIME | J48, NB, RF, SMO | SMO | %79,9 (F-ölçüm) |
| Dinçer ve ark. (2022) | Nefret söylemi tespiti | Twitter | 3.001 adet Türkçe tweet [1.503 adet nefret söylemi içeren, 1.498 adet nefret söylemi içermeyen tweetler] | Python (Tweepy kütüphanesi ile) | SVM, NB, LR | LR | %87 (Doğruluk) |
| Beyhan ve ark. (2022) | Türkçe nefret söyleminin otomatik tespiti | Twitter | İstanbul Sözleşmesi veri kümesi, Mülteciler veri kümesi | LabelStudio | BERTurk transformer mimarisi, k-katlı çapraz doğrulama | k-katlı çapraz doğrulama (k=5) | İstanbul Sözleşmesi veri kümesi: %77; (Doğruluk, F-ölçüm) Mülteci veri kümesi: %71 (Doğruluk, Duyarlılık) |
| Kuş (2021) | Mültecilere yönelik dijital nefret söylemlerinin tespiti | YouTube | Kovid-19 konusunda mültecileri hedef alan YouTube kullanıcı yorumları | Facepager | İçerik analizi yöntemi (Microsoft Excel, Google Sheets); Metin madenciliği yöntemleri (Rapidminer Studio, SPSS 21, Gephi 0.9.2); KNN | KNN | — |
| Karayiğit ve ark. (2021) | Türkçe nefret söylemi tespiti | Instagram | ATC veri kümesi [10.528 küfürlü, 19.826 küfürlü olmayan Instagram yorumları] | Python | CNN, NB, SVM, DT, RF, LR, AdaBoost, XGBoost | CNN | %97,4 (F-ölçüm) |
| Karayiğit ve ark. (2022) | Sosyal medyadaki Türkçe yorumların homofobik ya da nefret söylemi tespiti | Instagram | HATC (Homofobik-Küfürlü Türkçe Yorumlar) veri kümesi [10.237 nefret dolu, 1.226 homofobik, 19.827 nötr Instagram | — | M-BERT modeli, LSTM, BiLSTM, GRU, SVM, NB, RF, AdaBoost, XGBoost, GBoost | M-BERT modeli | HATC veri kümesi: %90,15 (F-ölçüm) |

| Çalışma | İlgili Konu | Uygulama Alanı | Veri Kümesi Boyutu | Veri Kümesi Toplama Aracı | Kullanılan Yöntem | En Başarılı Model | Başarı Oranı |
|-------------------------------|---|-----------------------------|---|--|--|-------------------|----------------------|
| | | | yorumları] | | | | |
| Yazgılı ve Baykara (2021) | Siber zorbalık tespiti | — | 3.000 adet siber zorbalık veri kümesi [1.503 tane siber zorbalık içeren, 1.497 tane siber zorbalık içermeyen veriler] | Açık kaynak hazır veri kümesi (KAGGLE) | C4.5 Tree, Bagging, Boosting, GradientBoosting, Stokastik Gradient Descent, XGBoost, KNN, K-Means, SVM, ANN, NB, LR,RF | LR | %88,35 (Doğruluk) |
| Bingöl ve Yıldırım (2021) | Siber zorbalık tespiti | Twitter | 11.111 adet Türkçe tweet veri kümesi | Açık kaynak hazır veri kümesi (GitHub) | NB, LR, J48, AdaBoostM1, BayesNet, SMO, JRip | LR, J48, BayesNet | %77 - %92 (Doğruluk) |
| Şahiner Yılmaz ve ark. (2021) | Siber zorbalık tespiti | Twitter | OffensEval yarışma veri kümesi [31.756 adet] ve yaklaşık 1 milyona yakın Türkçe tweet veri kümesi | Python | LSTM, BiLSTM | LSTM | %86 (Doğruluk) |
| Nergiz ve Avaroğlu (2021) | Siber zorbalık tespiti | Twitter, Instagram, Youtube | 180.000 adet Türkçe yorumlar [90.000 adet siber zorbalık içeren, 90.000 adet siber zorbalık içermeyen veriler] | Python programlama dili, Selenium | LSTM | LSTM | %93,15 (F-ölçüm) |
| Ön ve Yeniterzi (2020) | Türkçe dilindeki siber zorbalık içeren ifadelerin tespiti | TurkishCyberbullying | 3.000 tweetten oluşan TurkishCyberbullying veri kümesi | NLTK kütüphanesi | CNN, SVM | CNN | %93,7 (F-ölçüm) |
| Özçift ve ark. (2019) | Türkçe metinlerde bulunan siber zorbalık ifadelerinin tespiti | TurkishCyberbullying | 3.000 tweetten oluşan TurkishCyberbullying veri kümesi | — | Bayesçi LR | Bayesçi LR | %92,5 (F-ölçüm) |

3. Materyal ve Metot

3.1. Veri Kümesi

Bu çalışmada, iki adet Türkçe veri kümesi kullanılmıştır. Birincisi, 2021 yılında Mayda ve ark. (Mayda, 2021) hazırladığı çalışmada kullandıkları ve açık kaynak olarak GitHub ortamında paylaştıkları Türkçe tweetlerden oluşan etiketli hazır veri kümesidir. Çalışma kapsamında bu veri kümesi, veri kümesi_1k şeklinde ifade edilmiştir. İkincisi ise yine bu çalışma kapsamında Python dili

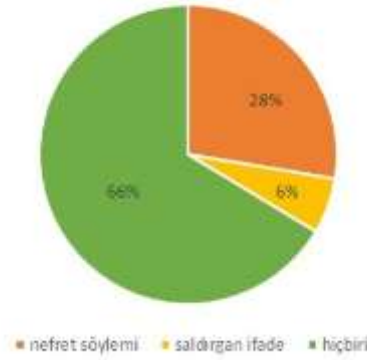
kullanılarak Twitter üzerinden toplanan Türkçe tweetlerden oluşan veri kümesidir. Bu veri kümesi ise, yazarlar tarafından toplanarak etiketlenmiş olup veri kümesi_2k şeklinde ifade edilmiştir.

Her iki veri kümesi oluşturulmadan önce hedef gruplara ait anahtar kelimeler belirlenmiştir. Bunun için, önce yerel ve ulusal medyada nefret söylemi haberlerinin yer aldığı NefretSoylemi.org sitesindeki içerikler incelenmiştir. Ardından, hedef gruplara ait anahtar kelimeler belirlenirken, sitede yer alan nefret söylemi içeriklerinde en sık kullanılan nefret söylemi ifadeleri ile Hrant Dink Vakfı tarafından hazırlanan “Medyada Nefret Söylemi ve Ayrımcı Söylem 2018 Raporu”nun (Engindeniz, 2018) sonuçları göz önüne alınmıştır. Veri kümesi_1k için belirlenen anahtar kelimelere sahip 1.000 tweet, Mayda ve ark. tarafından KNIME aracı kullanarak toplanmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanmakta olan veri kümesi_2k için ise yine belirlenen anahtar kelimelere sahip 2.049 tweet Python aracı kullanılarak Twitter üzerinden toplanmıştır.

Toplanan tweetlerin sınıflandırılması için, literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, saldırgan ifadeler ile nefret söylemi ifadelerinin aynı anlamdaymış gibi etiketlendiği görülmüştür. Yani, literatürdeki çalışmalarda veri kümesi, nefret söylemi içeren ve nefret söylemi içermeyen şekilde etiketlenmiştir. Ancak saldırgan ifadeler ile nefret söylemi ifadeleri birbirinden farklı kavramlardır. Mayda ve ark. tarafından veri kümesi_1k, “saldırgan ifade”, “nefret söylemi” ve “hiçbiri” olmak üzere üç sınıfta etiketlenerek paylaşılmıştır. Yine bu çalışmada da Türkçe dilinde nefret söylemi, veri kümesi_2k veri kümesi oluşturulurken toplanan tweetler “saldırgan ifade”, “nefret söylemi” ve “hiçbiri” olmak üzere üç sınıfta etiketlenmiştir. Bir ifadenin nefret söylemi içerip içermediği farklı değerlendiricilerin farklı yorumları şeklinde ele alınabilmektedir. Yani, bir değerlendirici “nefret söylemi” olarak etiketlediği veriyi, bir başka değerlendirici “saldırgan ifade” şeklinde etiketleyebilir. Burada oluşabilecek karmaşayı önlemek için, tweetler önce iki değerlendirmeci görüşüyle etiketlenmiştir. Etiketlemede kararsız kalındığında, sağlıklı bir sonuç üretebilmek adına üçüncü bir değerlendirmecinin görüşü alınmıştır.

Mayda ve ark. tarafından etiketli olarak paylaşılmış veri kümesi_1k'nın etiketine göre sınıf dağılım sayısı Şekil 1'de yer almaktadır. Etiketleme ifadeleri “saldırgan ifade (60)”, “nefret söylemi (276)” ve “hiçbiri (664)” olmak üzere üç sınıf olarak belirlenmiştir.

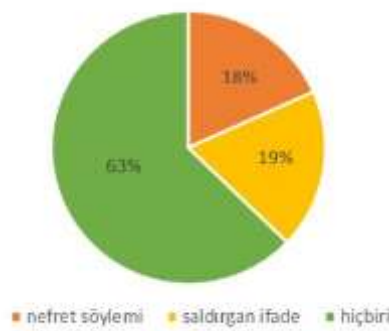
Veri Kümesi_1k Sınıf Dağılımı



Şekil 1. Veri kümesi_1k'nın etiketlerine göre dağılım sayısı (Figure 1. Number of distributions by labels of dataset_1k)

Veri kümesi_2k'nın etiketine göre dağılım sayısı Şekil 2'de yer almaktadır. Etiketleme ifadeleri “nefret söylemi (375)”, “saldırgan ifade (387)” ve “hiçbiri (1.287)” olmak üzere üç sınıf olarak belirlenmiştir.

Veri Kümesi_2k Sınıf Dağılımı



Şekil 2. Veri kümesi_2k'nın etiketlerine göre dağılım sayısı (Figure 2. Number of distributions by labels of dataset_2k)

3.2. Ön İşleme ve Özellik Çıkarımı

Eğitilecek modelin daha anlamlı ve doğru sonuçlar üretebilmesi için her iki veri kümesi üzerinde ön işleme adımları gerçekleştirilmiştir. Veri içerisinde yer alan tweetlerin her kelimesi küçük harfe çevrilmiştir. URL adresleri, kullanıcı adları, emojiler,

hashtagler, mentionlar, ünlem, nokta, tek tırnak işareti, soru işareti ve çift tırnak işareti gibi noktalama işaretleri silinerek veri kümesi temizlenmiştir. Kelime aralarında yer alan fazla boşluk tek boşluğa indirilmiştir. Tek başına anlamı olmayan ve model eğitiminde rol oynamayan bağlaçlar da kaldırılmıştır.

Kelime yapılarının incelenmesi için açık kaynak kodlu Türkçe doğal dil işleme kütüphanesi olan Zemberek kütüphanesi (Akın, 2007) tercih edilmiştir. Kelime unigram ve kelime bigramları bulunarak, bu kelimeler özellik kümesi olarak belirlenmiştir. Kelime Ngramları için, Zemberek kütüphanesi ile incelenen kelimenin kök ve ekleri listelenmektedir. Kelimeden çekim ekleri çıkartılarak önce elde edilen kök ve daha sonra yapım eklerinden oluşan gövdeler veri kümesi içerisinde tutulmuştur.

Nihaî veri kümesinde özellik olarak "tweetId", "tweet", "etiket", elde edilen kelime unigramlar ve kelime bigramlar yer almaktadır. Veri kümesi oluşturulurken her bir tweet içerisinde geçen kelime unigramlar ve kelime bigramlar kontrol edilerek, bulunduğu kelime adet sayısının bilgisi (yani kelime frekansı) tutulmuştur. Veri kümesi_1k için 1.000 adet satır ve 16.383 adet sütundan oluşan bir veri kümesi elde edilmiştir. Veri kümesi_2k için ise 2.049 adet satır ve 28.625 adet sütundan oluşan bir veri kümesi elde edilmiştir.

3.3. Özellik Seçimi ve Sınıflandırma

Çalışma kapsamında sırası ile veri kümelerinde yer alan 16.383 ve 28.625 özellik üzerine, özellik seçimi için ayrı ayrı Bilgi Kazancı Özellik Değerlendirici (InfoGainAttributeEval), Fisher Skor (Fisher Score), OneR Sınıflandırıcı (OneRClassifier), Ki-kare Testi (Chi-square test) ve Kazanç Oranı Özellik Değerlendirici (GainRatioAttributeEval) algoritmaları uygulanmıştır. Her bir algoritma için her iki veri kümesi en önemli 1.000 özelliğe indirgenmiştir. Özellik seçimi için kullanılan algoritma ile çıkan 1.000 özellik üzerine ayrı ayrı KNN, RF, NB, SVM, LSTM ve Word2Vec+SVM gibi farklı algoritmalar uygulanmıştır. Tüm bu algoritmalara ait deneyler, Python dilinde pandas v1.3.5, Scikit learning 1.0.2, sklearn.ensemble ve Pytorch 1.13.0 kütüphaneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca SVM algoritması, 'C'=1, 'dual'='false', 'penalty' = 'l2' parametreleri ile LinearSVC sınıflandırıcı 'scikit learning' kütüphanesi kullanılarak çalıştırılmıştır. LSTM algoritması için ise kullanılan hiper-parametreleri Şekil 3'te verilmiştir.

```
# Build the model
print('Build model...')
model = Sequential()
model.add(LSTM(128)(hidden_nodes, return_sequences=False, input_shape=(word_vec_length,
char_vec_length)))
model.add(Dropout(0.6))
model.add(Dense(2))
model.add(Activation('softmax'))
model.compile(loss='categorical_crossentropy', optimizer='adam')
batch_size=1000
model.fit(train_x, train_y, batch_size=batch_size, epochs=10, validation_data=(validate_x,
validate_y))
```

Şekil 3. Deneylerde kullanılan LSTM hiper-parametreleri (Figure 3. LSTM hyper-parameters used in experiments)

Tüm deneyler boyunca 10-katlı çaprazlama (10-fold Cross Validation) tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte veri kümesi varsayılan değer (default) olarak %90 eğitim - %10 test şeklinde ayrılmaktadır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerde ise, her iki veri kümesi önce 70 eğitim - %30 test şeklinde ve daha sonra %30 eğitim - %70 test şeklinde ayrılmıştır. Son durumda dört farklı sonuç elde edilerek tüm sonuçlar paylaşılmıştır.

3.3.1. Bilgi Kazancı Özellik Değerlendirici (InfoGainAttributeEval)

InfoGain Attribute Eval kullanılarak özellik çıkarımını hesaplamak için entropi kavramına ihtiyaç duyulmaktadır. Entropi, sistemdeki düzensizliğin ölçüsüdür. Veri kümesi içerisindeki her bir özelliğin değeri sınıfa göre bilgi kazanım oranını ölçerek elde edilmektedir (Hall, 1999). H entropi olmak üzere Bilgi Kazancı hesaplama formülü Eşitlik (1)'de paylaşılmıştır.

$$\text{Bilgi Kazancı} = H(\text{Sınıf}) - H\left(\frac{\text{Sınıf}}{\text{Özellik}}\right) \quad (1)$$

3.3.2. Fisher Skor (Fisher Score)

Fisher Skor, en yaygın kullanılan denetimli öznitelik seçim yöntemlerinden birisidir (Gu, 2012). Bu yöntemde Fisher Skor fonksiyonu, maksimum olasılık tahmini ile derinden ilişkilidir. Bu fonksiyon, iki sınıfı birbirinden en iyi ayıran özellikleri seçmek için kullanılır; bu özelliklere göre Fisher Skor'un en yüksek değerde olan özellikleri alınır. Fisher Skor yönteminde, her bir sınıfın özelliklerine dair standart sapma ve ortalama değerleri kullanılarak bir bağlantı skoru hesaplanır. Fisher Skor hesaplama formülasyonu Eşitlik (2)'de (Budak, 2018) gösterilmiştir.

$$F(x_i) = \frac{|\mu_i^+ - \mu_i^-|}{|\alpha_i^+ - \alpha_i^-|} \quad (2)$$

Burada, + ve - sembolleri iki sınıflı problemler için farklı sınıfları; μ_i^+ ve μ_i^- sembolleri sınıfların aritmetik ortalamalarını, α_i^+ ve α_i^- sembolleri de sınıflara ait standart sapma değerlerini belirtmektedir.

3.3.3. OneR Sınıflandırıcı (OneRClassifier)

Özellik değeri OneR sınıflandırma algoritması ile hesaplanmaktadır. OneR algoritmasının çalışma adımları aşağıda paylaşılmıştır (Novaković, 2011).

1. Eğitim verisi içerisinde her özellik için kural oluşturmak.
2. Oluşturulan her bir kural için sınıflandırma doğruluklarını hesaplamak.
3. En az hatalı kurallara sahip özellikleri seçmek.

3.3.4. Ki-kare Testi (Chi-squared test)

Ki-kare Testi, gözlenen ve beklenen frekanslar arasındaki farkın, istatistiksel olarak anlamlılık ilkesine dayandığı bir özellik seçim yöntemidir. Bu test, genellikle birbirinden bağımsız iki değer niteliksel olarak belirtilen verilerin kriterlerini analiz ve test etmek için kullanılır. Bunun yanında Ki-kare Testinin uygulaması, ölçümle belirlenen sürekli değişkenler, belirli bir derecenin altında ya da üstünde olacak şekilde nitelendirilerek uygulanır.

Ki-kare Testinde metod, özellikler (X) ile Y arasında bağlantı olup olmadığını test etmektedir. Yapılan test sonucunda, Y ile ilişkisi olmadığı tespiti sonucu özellikler (X) veri kümesinden çıkartılır. Ki-kare Testi için hesaplama formülasyonu aşağıda Eşitlik (3), Eşitlik (4) ve Eşitlik (5)'te (Gu, 2012) gösterilmiştir.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{(N_{ij} - N_{ij}^{\wedge})^2}{N_{ij}^{\wedge}} \quad (3)$$

$$N_{ij}^{\wedge} = \frac{N_i \cdot N_j}{N} \quad (4)$$

$$d = (I - 1)(J - 1) \quad (5)$$

Burada N_{ij} , Y'nin i ve X'in j düzeyindeki gözlenen birim sayısı; N_{ij}^{\wedge} iki özellik bağımsız iken Y'nin i ve X'in j düzeyindeki beklenen birim sayısı; d test istatistiğinin analizi için kullanılan Ki-kare dağılımında serbestlik kademesini belirtmektedir.

3.3.5. Kazanç Oranı Özellik Değerlendirici (GainRatioAttributeEval)

Kazanç oranı kullanıldığında özellik değeri, sınıfa göre kazanım oranı ölçülerek hesaplanmaktadır. Oran sonucunda 0 ile 1 aralığında değer ortaya çıkmaktadır. Bu değer özellik değeri olarak kabul edilmektedir. Oran sonucu 0 ise özellik ile sınıf arasında hiçbir ilişki olmadığı sonucuna varılmaktadır. 1 ise özelliğin doğru tahmin edilebildiğini gösterir (Hall, 1999). Kazanç Oranı formülasyonu Eşitlik (6)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Kazanç Oranı} = \frac{\text{Bilgi Kazancı}}{H(\text{Özellik})} \quad (6)$$

3.3.6. K-En Yakın Komşu algoritması (K-Nearest Neighbor algorithm – KNN)

Sınıflandırma işleminde gözetimli öğrenme metodlarından olan K-En Yakın Komşu (KNN) algoritması, en basit sınıflandırma tabanlı makine öğrenmesi yöntemi olarak ifade edilmektedir. Bu algoritma içerisinde, tahmin edilecek değer bağımsız değişkenlerden oluşan vektörler aracılığıyla en yakın komşularının hangi sınıfta daha yoğun olarak toplandığı bilgisi üzerinden hareket ederek, bağımsız değişkenin sınıfını tahmin etmede kullanılan bir algoritma modelidir. Bu algoritma, basit ve etkili örüntü tanıma yöntemlerindedir; gerçekleştirimi kolay, öğrenme sürecinin kullanışlı, basit ve güçlü olmasından ötürü, makine öğrenmesi algoritmaları arasında sınıflandırmada ve regresyon çalışmaları içerisinde yaygın olarak tercih edilir (Yazgılı, 2021).

Sınıflandırma aşamasında k değeri, incelenecek eleman sayısını belirtir. KNN algoritması beş adımdan oluşur. İlk adım k değerinin belirlenmesidir. İkinci adımda, k değerinin diğer nesnelere hedef nesneye olan Öklid (veya benzeri) uzaklıkları hesaplanır. Üçüncü adımda, uzaklıklar sıralanarak en küçük uzaklığa bağlı olan en yakın komşular bulunur. Dördüncü adımda, en yakın komşu kategorileri belirlenir. Son adımda ise, en uygun komşu kategorisi seçilerek işlem tamamlanır.

3.3.7. Rasgele Orman algoritması (Random Forest algorithm – RF)

Denetimli öğrenme algoritmalarından birisi olan Rasgele Orman (RF) algoritması, regresyon ve sınıflandırma problemlerinde sıklıkla tercih edilir. RF algoritması, birden fazla karar ağacı üretir ve sınıflandırma işlemi esnasında sınıflandırmayı yaparken algoritma değerini yükseltmeyi hedefler. Algoritmanın mantığı, birbirinden bağımsız şekilde çalışan karar ağaçlarının bir araya gelmesiyle aralarından en yüksek puana sahip değer seçilmesi işlemine dayanır. Bu metodla, rastgele seçilen bir altküme aracılığıyla pek çok sınıflandırma ağacı içerisinde yeni topluluklar oluşturulabilir. RF algoritması sürekli, kategorik, sürekli ve kategorik yapıdaki veri kümelerinde ve farklı boyutlara sahip büyük veri kümelerinde kullanılmaktadır (Yazgılı, 2021).

3.3.8. Naive Bayes algoritması (Naive Bayes algorithm – NB)

Naive Bayes (NB) algoritması, istatistik temelli bir gözetimli öğrenme algoritmasıdır. Metin tabanlı olarak kullanılacak dokümanlarda sınıflandırma işlemi yaparken, eğitim veri kümelerinin tümü üzerinde koşullu olasılıkları hesaplanarak gerçekleştirilir (Yazgılı, 2021). Bu metodun en belirgin özelliği, uygulamasının basit kullanışlılıkta olması ve başarılı sonuçlar elde edilebilmesi mantığıdır.

NB sınıflandırma modeli, olasılık ölçütlerine göre tanımlanan hesaplamalarla sisteme verilen verilerin kategorisini tespit etmektedir. Bu sınıflandırma modelinde, sisteme belirli oranlarda eğitilmiş verilerin girdisi yapılır. Eğitim için verilerin girdisi mutlaka bir sınıfa ait olmalıdır. Eğitilmiş veriler üzerindeki olasılık işlemleriyle, sisteme girdi olarak verilen yeni test verileri, önceden

elde edilen olasılık değerleriyle birlikte karşılaştırılır. Daha sonra sisteme verilen test verisinin hangi sınıflandırmaya dahil olduğu belirlenir. Burada eğitilmiş veri sayısının çok olması tercih sebebidir; bu sayede test verisinin gerçek sınıfını tespit etme işi kolaylaşacaktır.

3.3.9. Destek Vektör Makinesi algoritması (Support Vector Machine algorithm – SVM)

Destek Vektör Makinesi (SVM) algoritması, denetimli öğrenme yöntemlerinden birisi olup genellikle sınıflandırma ve regresyon analizi problemlerinde kullanılır. SVM, doğrusal ve doğrusal olmayan verileri sınıflandırabilir; ancak genelde verileri doğrusal olarak sınıflandırmaya çalışır. SVM’de bir düzlem üzerine yerleştirilen noktaları ayırmak için, doğrusal bir doğru çizilerek, düzlemdeki sınıflar ayrıştırılır. Bu şekilde bu doğrunun, iki sınıfın noktalarına ait maksimum uzaklıkta olması hedeflenir. Ancak doğrusal çizgiler, doğrusal olmayanlar kadar her zaman başarılı olmayabilir. Doğrusal olarak birbirinden ayrılamayan sınıflarda, “kernel trick” adı verilen bir yöntem kullanılır. Bu yöntemde kernel fonksiyonu, doğrusal olarak ayrılamayan sınıfları, doğrusal olarak ayrılabilir duruma getirir ve daha başarılı sonuçlar elde edilir. Böylece elde edilen verilerden yeni verileri tanımlamak için, büyük miktarda veri analizi gerçekleştirilebilir (Beken, 2022).

3.3.10. Uzun Kısa-Sürelili Bellek algoritması (Long Short-Term Memory algorithm – LSTM)

Uzun Kısa-Sürelili Bellek (LSTM) algoritması, derin öğrenme yöntemlerinden yinelemeli sinir ağı modelidir. Sıralı verileri modelleyip, bir sonraki adımı tahmin etmek için kullanılan Tekrarlayan Sinir Ağı (RNN) algoritmasının bir türüdür. LSTM, RNN’ye göre daha uzun süreli bilgiyi hatırlayabilen bir mimariye sahiptir (Kara, 2019). LSTM mimarisinde gelen girdiler önemli olup olmaması durumuna göre bir sonraki aşamaya aktarılır. Bu işlem kapılar (gates) ve hücre durumları (cell state) ile gerçekleşmektedir. Unutma kapısına (Forget Gate) bir önceki katmadan gelen bilgiler, Sigmoid fonksiyonu uygulanarak geçer. Geçen bilgi 0 ile 1 arasında değer alır. Bilgi ne kadar 0’a yakınsa önemsiz olur ve unutulur, ne kadar 1’e yakınsa önemli olur ve tutulur. Girdi kapısı (Input Gate) hücre durumlarını günceller ve ağı düzenlemek için, Tanh fonksiyonunu kullanır. Hücre durumları (Cell State) yapay sinir ağı içerisinde bilgiyi hücreler arasında taşır. Çıktı kapısı ise (Output Gate) bir sonraki katmana gidecek bilgiye karar verir (Eid, 2022).

3.3.11. Word2Vec + SVM algoritması (Word2Vec + SVM algorithm)

Word2Vec, bir Doğal Dil İşleme tekniği olup kelimeleri vektör uzayında ifade etmeye yarayan denetimsiz (gözetimsiz) ve tahmin temelli (prediction-based) bir makine öğrenmesi modelidir. Temelinde ANN ile iki farklı model kullanarak kelimelerin eğitilmesi amaçlanıp geliştirilir. Eğitildikten sonra, böyle bir model eş anlamlı kelimeleri algılayabilir veya kısmi bir cümle için ek kelimeler önerebilir. Word2Vec, her bir farklı kelimeyi vektör adı verilen belirli bir sayı listesiyle temsil eder. Vektörler, kelimelerin anlamsal ve sözdizimsel niteliklerini karşılayacak şekilde dikkatlice seçilir. Bu nedenle, bu vektörler tarafından temsil edilen kelimeler arasında basit bir matematiksel fonksiyon (kosinüs benzerliği) ile anlamsal benzerlik düzeyi gösterilebilir (Word2Vec).

Denetimli (gözetimli) öğrenme yöntemlerinden birisi olan SVM, genellikle sınıflandırma ve regresyon analizi problemlerinde kullanılır. Word2Vec+SVM ise, iki farklı makine öğrenmesi tekniğinin birleşimini ifade eden bir yöntemdir. Bu iki tekniğin kombinasyonu, metin sınıflandırma görevleri için kullanılır. Bu yöntemde, metin verileri kelimeler arasındaki bağlantıyı gösteren vektörlere dönüştürülür. Ardından bu vektörler bir SVM sınıflandırıcısı tarafından kullanılarak metinler sınıflandırılır. Word2Vec+SVM yöntemi, pek çok farklı metin sınıflandırma görevlerinde başarıyla kullanılabilir.

4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

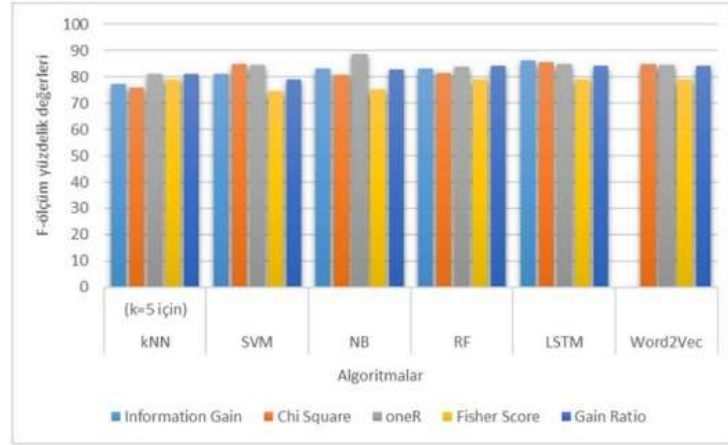
Bu bölümde makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilen deney süreçleri ve elde edilen sonuçlar paylaşılmaktadır. Çalışma kapsamında iki adet veri kümesi kullanılmıştır. Her iki veri kümesi üzerinde özellik seçimi yapılarak 1.000’er özellik elde edilmiş ve altı farklı makine öğrenmesi algoritması ile model eğitimi gerçekleştirilmiştir. Model eğitilirken 10-katlı çapraz-doğrulama (10-fold cross-validation) tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte veri kümesi varsayılan değer (default) olarak %90 eğitim - %10 test şeklinde ayrılmaktadır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerde ise her iki veri kümesi önce %30 eğitim - %70 test şeklinde ve daha sonra %70 eğitim - %30 test şeklinde ayrılarak, her iki durum için elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Veri kümelerinin etiket dağılımı dengeli olmadığı için performans başarı ölçütü olarak F-ölçüm değeri esas alınmıştır.

Tablo 2’de veri kümesi_1k için %70 eğitim - %30 test olarak ayrılan 1.000 tweetin farklı özellik seçimlerine göre farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak elde edilen sınıflandırma performansları yer almaktadır.

Tablo 2. Veri kümesi_1k için 10-katlı çapraz-doğrulama tekniği kullanılarak %70 eğitim - %30 test şeklinde ayrılan 1.000 tweetin farklı özellik seçimlerine göre farklı makine öğrenmesi algoritmalarının uygulanması sonucunda elde edilen % olarak F-ölçüm değerleri (Table 2. F-measure values in % obtained as a result of applying different machine learning algorithms according to different feature selections of 1,000 tweets divided into 70% training - 30% test using 10-fold cross-validation technique for dataset_1k)

| %70 Eğitim %30 Test | KNN (k=5 için) | SVM | NB | RF | LSTM | Word2Vec+LSTM |
|------------------------|----------------|-------|--------------|-------|--------------|---------------|
| Info-Gain | 77,12 | 81,09 | 82,98 | 83,24 | 86,27 | 85,03 |
| Chi-Square | 75,79 | 84,96 | 80,88 | 81,45 | 85,72 | 85,01 |
| OneR | 81,16 | 84,53 | 88,81 | 83,78 | 84,95 | 84,62 |
| Fisher Score | 78,86 | 74,48 | 75,04 | 78,91 | 79,16 | 79,13 |
| Gain-Ratio | 81,09 | 78,89 | 82,68 | 84,27 | 84,31 | 84,30 |

Tablo 2’de genel olarak en yüksek oranın LSTM algoritması ile elde edildiği görülmektedir. En iyi sonuçlar tabloda koyu renk olarak verilmiştir. Karşılaştırmalı sonuçlar Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Veri kümesi_1k için 10-katlı çapraz-doğrulama tekniği kullanılarak %70 eğitim - %30 test şeklinde ayrılan 1.000 tweetin farklı özellik seçimlerine göre farklı makine öğrenmesi algoritmalarının uygulanması sonucunda elde edilen % olarak F-ölçüm değerlerinin şekilsel ifadesi (Figure 4. Figural expression of F-measure values in % obtained as a result of applying different machine learning algorithms according to different feature selections of 1,000 tweets divided into 70% training - 30% test using 10-fold cross-validation technique for dataset_1k)

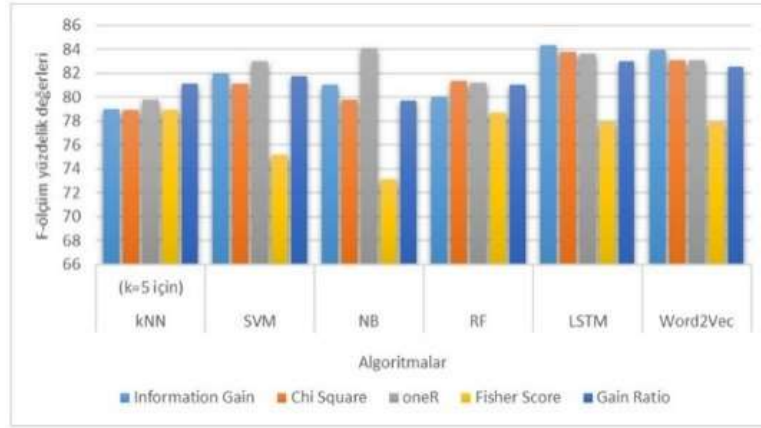
Şekil 4’te veri kümesi_1k için 1.000 tweete göre farklı özellik seçimleri göz önüne alınarak, farklı makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırmalı sonuçları yer almaktadır. Tablo 2 ve Şekil 4 incelendiğinde, OneR özellik seçim yönteminde NB algoritması %88,81 başarı oranıyla en iyi yöntem olduğu söylenebilir.

Tablo 3’te veri kümesi_1k için %30 eğitim - %70 test olarak ayrılan 1.000 tweetin farklı özellik seçimlerine göre farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak elde edilen sınıflandırma performansları yer almaktadır.

Tablo 3. Veri kümesi_1k için 10-katlı çapraz-doğrulama tekniği kullanılarak %30 eğitim - %70 test şeklinde ayrılan 1.000 tweetin farklı özellik seçimlerine göre farklı makine öğrenmesi algoritmalarının uygulanması sonucunda elde edilen % olarak F-ölçüm değerleri (Table 3. F-measure values in % obtained as a result of applying different machine learning algorithms according to different feature selections of 1,000 tweets divided into 30% training - 70% testing using the 10-fold cross-validation technique for dataset_1k)

| %30 Eğitim %70 Test | KNN (k=5 için) | SVM | NB | RF | LSTM | Word2Vec+LSTM |
|------------------------|----------------|-------|--------------|-------|--------------|---------------|
| Info-Gain | 78,97 | 81,95 | 81,01 | 80,05 | 84,36 | 83,94 |
| Chi-Square | 78,92 | 81,11 | 79,82 | 81,38 | 83,79 | 83,06 |
| OneR | 79,78 | 82,98 | 84,09 | 81,18 | 83,65 | 83,05 |
| Fisher Score | 78,91 | 75,18 | 73,11 | 78,72 | 77,91 | 77,93 |
| Gain-Ratio | 81,11 | 81,78 | 79,68 | 81,02 | 83,04 | 82,56 |

Tablo 3'te genel olarak en yüksek oranın LSTM algoritması ile elde edildiği görülmektedir. En iyi sonuçlar tabloda koyu renk olarak verilmiştir. Karşılaştırmalı sonuçlar Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Veri kümesi_1k için 10-katlı çapraz-doğrulama tekniği kullanılarak %30 eğitim - %70 test şeklinde ayrılan 1.000 tweetin farklı özellik seçimlerine göre farklı makine öğrenmesi algoritmalarının uygulanması sonucunda elde edilen % olarak F-ölçüm değerlerinin şekilsel ifadesi (Figure 5. Figural expression of F-measure values in % obtained as a result of applying different machine learning algorithms according to different feature selections of 1,000 tweets divided into 30% training - 70% testing using the 10-fold cross-validation technique for dataset_1k)

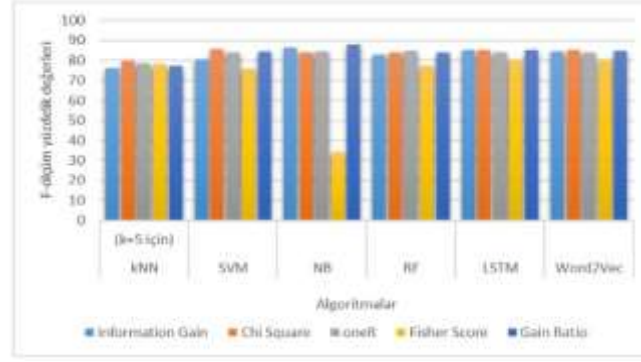
Şekil 5'te veri kümesi_1k için 1.000 tweete göre farklı özellik seçimleri göz önüne alınarak, farklı makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırmalı sonuçları yer almaktadır. Tablo 3 ve Şekil 5 incelendiğinde, Info-Gain özellik seçim yönteminde LSTM algoritması %84,36 başarı oranıyla en iyi yöntem olduğu söylenebilir.

Tablo 4'te veri kümesi_2k için %70 eğitim - %30 test olarak ayrılan 1.000 tweetin farklı özellik seçimlerine göre farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak elde edilen sınıflandırma performansları yer almaktadır.

Tablo 4. Veri kümesi_2k için 10-katlı çapraz-doğrulama tekniği kullanılarak %70 eğitim - %30 test şeklinde ayrılan 1.000 tweetin farklı özellik seçimlerine göre farklı makine öğrenmesi algoritmalarının uygulanması sonucunda elde edilen % olarak F-ölçüm değerleri (Table 4. F-measure values in % obtained as a result of applying different machine learning algorithms according to different feature selections of 1,000 tweets divided into 70% training - 30% testing using the 10-fold cross-validation technique for dataset_2k)

| %70 Eğitim %30 Test | KNN (k=5 için) | SVM | NB | RF | LSTM | Word2Vec+LSTM |
|------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Info-Gain | 76,17 | 80,29 | 86,34 | 82,86 | 85,17 | 84,33 |
| Chi-Square | 79,51 | 85,35 | 84,01 | 84 | 85,11 | 84,95 |
| OneR | 78,61 | 83,81 | 84,52 | 84,56 | 84,05 | 83,94 |
| Fisher Score | 78,22 | 75,72 | 33,91 | 77,42 | 80,16 | 79,94 |
| Gain-Ratio | 77,31 | 84,29 | 87,71 | 84,09 | 85,09 | 84,56 |

Tablo 4'te genel olarak en yüksek oranının NB algoritması ile elde edildiği görülmektedir. En iyi sonuçlar tabloda koyu renk olarak verilmiştir. Karşılaştırmalı sonuçlar Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Veri kümesi_2k için 10-katlı çapraz-doğrulama tekniği kullanılarak %70 eğitim - %30 test şeklinde ayrılan 1.000 tweetin farklı özellik seçimlerine göre farklı makine öğrenmesi algoritmalarının uygulanması sonucunda elde edilen % olarak F-ölçüm değerlerinin şekilsel ifadesi (Figure 6. Figural expression of F-measure values in % obtained as a result of applying different machine learning algorithms according to different feature selections of 1,000 tweets divided into 70% training - 30% testing using the 10-fold cross-validation technique for dataset_2k)

Şekil 6'da veri kümesi_2k için 1.000 tweete göre farklı özellik seçimleri göz önüne alınarak, farklı makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırmalı sonuçları yer almaktadır. Tablo 4 ve Şekil 6 incelendiğinde, Gain-Ratio özellik seçim yönteminde NB algoritması %87,71 başarı oranıyla en iyi yöntem olduğu söylenebilir.

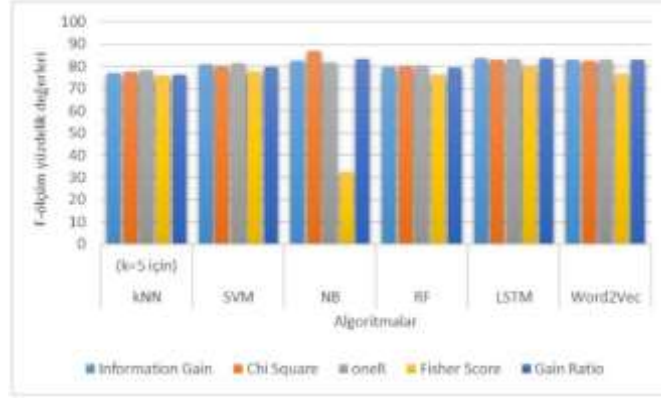
Tablo 5'te veri kümesi_2k için %30 eğitim - %70 test olarak ayrılan 1.000 tweetin farklı özellik seçimlerine göre farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak elde edilen sınıflandırma performansları yer almaktadır.

Tablo 5. Veri kümesi_2k için 10-katlı çapraz-doğrulama tekniği kullanılarak %30 eğitim - %70 test şeklinde ayrılan 1.000 tweetin farklı özellik seçimlerine göre farklı makine öğrenmesi algoritmalarının uygulanması sonucunda elde edilen % olarak F-ölçüm değerleri (Table 5. F-measure values in % obtained as a result of applying different machine learning algorithms according to different feature selections of 1,000 tweets divided into 30% training - 70% testing using the 10-fold cross-validation technique for dataset_2k)

| %30 Eğitim %70 Test | KNN (k=5 için) | SVM | NB | RF | LSTM | Word2Vec+LSTM |
|------------------------|----------------|-------|--------------|-------|--------------|---------------|
| Info-Gain | 76,91 | 80,82 | 82,51 | 79,63 | 83,45 | 82,97 |
| Chi-Square | 77,31 | 80,11 | 86,89 | 80 | 82,89 | 82,38 |

| | | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|
| OneR | 77,91 | 81,27 | 81,55 | 80,23 | 83,05 | 82,93 |
| Fisher Score | 75,62 | 77,67 | 32,44 | 76,12 | 79,75 | 76,66 |
| Gain-Ratio | 76,11 | 79,54 | 83 | 79,26 | 83,55 | 82,78 |

Tablo 5’te genel olarak en yüksek oranının LSTM algoritması ile elde edildiği görülmektedir. En iyi sonuçlar tabloda koyu renk olarak verilmiştir. Karşılaştırmalı sonuçlar Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Veri kümesi_2k için 10-katlı çapraz-doğrulama tekniği kullanılarak %30 eğitim - %70 test şeklinde ayrılan 1.000 tweetin farklı özellik seçimlerine göre farklı makine öğrenmesi algoritmalarının uygulanması sonucunda elde edilen % olarak F-ölçüm değerlerinin şekilsel ifadesi (Figure 7. Figural expression of F-measure values in % obtained as a result of applying different machine learning algorithms according to different feature selections of 1,000 tweets divided into 30% training - 70% testing using the 10-fold cross-validation technique for dataset_2k)

Şekil 7’de, veri kümesi_2k için 1.000 tweete göre farklı özellik seçimleri göz önüne alınarak, farklı makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırmalı sonuçları yer almaktadır. Tablo 5 ve Şekil 7 incelendiğinde, Chi-Square özellik seçim yönteminde NB algoritması %86,89 başarı oranıyla en iyi yöntem olduğu söylenebilir.

5. Sonuç

Teknolojinin sürekli gelişimi ile sosyal medya ağlarının sayısı ve kullanımı her geçen gün artmaktadır. Buna bağlı olarak farklı sosyal medya ağlarında kullanıcılar tarafından üretilen içeriklerdeki nefret söylemi ifadelerinin geniş çaplı olması, bu ifadelerin tespitini zorlaştırmakta ve nefret söylemi tespiti için otomatik sistemlere ihtiyaç oluşturmaktadır. Bu alanda genellikle İngilizce ve diğer dillerde yapılan çalışmaların varlığına rastlanılmıştır. Türkçe dilinde nefret söylemi ifadelerinin tespitindeki çalışmaların sayıca az oluşu da dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada, Türkçe dilindeki tweetler üzerinde nefret söylemi tespiti için makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. Çalışmanın ilerleyişi, Türkçe nefret söylemi problemi için özellik seçimi ve sınıflandırıcıların kullanılarak algoritmaların performans karşılaştırması üzerine yapılmıştır. Çalışmada, iki adet Türkçe tweet veri kümesi kullanılmıştır. Veri ön işlemenin ardından kelime yapılarının incelenmesinde açık kaynak kodlu Türkçe doğal dil işleme kütüphanesi olan Zemberek kütüphanesinden yararlanılmıştır. Kelime unigram ve bigramları bulunarak, bulunan bu kelimeler özellik seçimi kümesi olarak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında veri kümelerinde yer alan kelimelerin özellik seçimi için InfoGainAttributeEval, Fisher Skor, OneRClassifier, Ki-kare Testi ve GainRatioAttributeEval özellik seçim yöntemleri uygulanmıştır. Her iki veri kümesi için de özellik seçimi ardından elde edilen 1000’er özellik üzerinde farklı makine öğrenmesi algoritmaları uygulanmıştır. Burada uygulanan altı farklı makine öğrenmesi algoritmaları KNN, RF, NB, SVM, LSTM ve Word2Vec+SVM şeklindedir. Veri kümelerinin etiket dağılımı dengeli olmadığı için performans başarı ölçütü olarak F-ölçüm değeri esas alınmıştır.

Tüm deneyler boyunca 10-katlı çapraz-doğrulama tekniği kullanılmıştır. Bu teknikle veri kümesi varsayılan değer (default) olarak %90 eğitim - %10 test şeklinde ayrılmaktadır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerde ise, veri kümesi_1k ve veri kümesi_2k için önce %70 eğitim - %30 test şeklinde ayrılarak, kullanılan beş özellik seçimine göre her bir algoritmanın performansı incelenmiştir. Ardından bu işlemler, veri kümesi_1k ve veri kümesi_2k veri kümeleri için %30 eğitim - %70 test şeklinde ayrılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Veri kümesi_1k için algoritmalar arasında en iyi sonucu %88,81 F-ölçüm oranıyla OneR özellik seçimi ile NB algoritması vermiştir. Veri kümesi_2k için ise algoritmalar arasında en iyi sonucu %87,71 F-ölçüm oranıyla Info-Gain özellik seçimi ile NB algoritması vermiştir. Deneysel uygulamalarda, genel anlamda beş farklı özellik seçimi için algoritmalar arasında en iyi sonucu veren yöntemin LSTM algoritması olduğu görülmüştür.

Gelecekte, Türkçe dilinde nefret söylemi tespitinde yapılan araştırmalarda daha sağlıklı ve güvenilir sonuçların elde edilmesi için, kelime veya kelime gruplarında anlamsal boyutları da dikkate alınarak, değerlendirilebileceği ve derin öğrenme algoritmalarına uygulamalarda daha fazla yer vererek nefret söylemi tespitine yönelik çalışmaların yapılması planlanmaktadır.

6. Teşekkür

Hazırladığımız çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 120E187 numaralı proje ile kısmen desteklenmiştir. Bu çalışmadaki görüşler yazarlara aittir ve TÜBİTAK'ın resmi pozisyonunu veya politikalarını temsil etmeyebilir.

Kaynakça

- Akın, A. A. (2007). Zemberek, An Open-Source NLP Framework For Turkish Languages. *Structure*, 10(2007), 1-5. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=tr&user=zCdB2VkAAAAJ&citation_for_view=zCdB2VkAAAAJ:d1gkVwhDpl0C
- Beken, M. (2022). Prediction Of Oil Consumption And Oil Access Of Countries In The European Union Region With Machine Learning. *International Journal of Smart Grid-IJSmartGrid* 6(3), 79-83. <https://doi.org/https://doi.org/10.20508/ijsmartgrid.v6i3.250.g242>
- Beyhan, F. (2022). A Turkish Hate Speech Dataset And Detection System. In İ. Arın, Proceedings of the 13th Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2022) Marseille, France.
- Bingöl, H. Y., M. (2021, 25-28 Kasım 2021). *Çevrimiçi Sosyal Ağlarda Yapay Zekâ Yöntemleri İle Siber Zorbalık Tespiti Uluslararası Mühendislik, Doğa ve Sosyal Bilimler Sempozyumu*, Batman, Türkiye.
- Budak, H. (2018). Özellik Seçim Yöntemleri Ve Yeni Bir Yaklaşım. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 22(Özel Sayı), 21-31. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.01653>
- Diñçer, E. Ş. (2022). Metin Madenciliği Ve Duygu Analizi İle Siber Zorbalık Tespiti. *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi* 3(2), 38-45. <https://doi.org/https://doi.org/10.53608/estudambilisim.1070884>
- Eid, M. (2022). Meta-Heuristic optimization of LSTM-based deep network for Boosting the prediction of monkeypox cases. *Mathematics* 10(20), 3845. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/math10203845>
- Engindeniz, İ., Özkan, Ş., & Tekin, F. (2018). *Medyada Nefret Söylemi Ve Ayrımcı Söylem 2018 Raporu*. <https://hrantdink.org/tr/asulus/faaliyetler/projeler/medyada-nefret-soylemi/2002-medyada-nefret-soylemi-ve-ayrimci-soylem-2018-raporu-yayimlandi>
- Gu, Q. (2012). Generalized Fisher Score For Feature Selection. 1-3. <https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.1202.3725>
- Hall, M. A. (1999). *Correlation-based Feature Selection For Machine learning* [The University of Waikato]. Hamilton, New Zealand. <https://hdl.handle.net/10289/15043> ; <https://researchcommons.waikato.ac.nz/handle/10289/15043?show=full>
- Kara, A. (2019). Global Solar Irradiance Time Series Prediction Using Long Short-Term Memory Network. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part C: Tasarım ve Teknoloji* 7(4), 882-892. <https://doi.org/10.29109/gujsc.571831>
- Karayiğit, H. (2021). Detecting Abusive Instagram Comments In Turkish Using Convolutional Neural Network And Machine Learning Methods. *Expert Systems with Applications* 174(14). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114802>
- Karayiğit, H. (2022). Homophobic And Hate Speech Detection Using Multilingual-BERT Model On Turkish Social Media. *Information Technology and Control* 51(2), 356-375. <https://doi.org/https://doi.org/10.5755/j01.itc.51.2.29988>
- Kuş, O. (2021). Kovid-19 Salgını Ve Mültecilere Yönelik Dijital Nefret Söylemi: Büyük Veri Perspektifinden Metin Madenciliği Tekniği İle Kullanıcı Kaynaklı İçeriklerin Analizi. *TRT Akademi* 6(11), 106-131. <https://doi.org/https://doi.org/10.37679/trta.830736>
- Mayda, İ. (2021). Türkçe Tweetler Üzerinde Makine Öğrenmesi İle Nefret Söylemi. *European Journal of Science and Technology* 328-334. <https://doi.org/https://doi.org/10.31590/ejosat.903854>
- Nergiz, G. (2021). Türkçe Sosyal Medya Yorumlarındaki Siber Zorbalığın Derin Öğrenme İle Tespiti. *European Journal of Science and Technology* 31(1), 77-84. <https://doi.org/https://doi.org/10.31590/ejosat.987259>
- Novaković, J. (2011). Toward Optimal Feature Selection Using Ranking Methods And Classification Algorithms. *Yugoslav Journal of Operations Research* 21(1), 119-135. <https://doi.org/10.2298/YJOR1101119N>
- Ön, E. P. (2020, 05-07 October 2020). *Cyberbullying Detection Using Deep Learning And Word Embedding Analysis* 28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Gaziantep, Turkey. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9302297>
- Özçift, A. (2019). Application of Grid Search Parameter Optimized Bayesian Logistic Regression Algorithm To Detect Cyberbullying In Turkish Microblog Data. *Academic Platform Journal of Engineering and Science* 7(3), 355-361. <https://doi.org/10.21541/apjes.496018>
- Şahiner Yılmaz, Ş. (2021, 22-25 February 2021). *Türkçe Metinlerde Derin Öğrenme Yöntemleri Kullanılarak Duygu Analizi* The International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies (ISSRIS'21), Bandırma, Balıkesir, Türkiye. <https://avesis.gazi.edu.tr/yayin/658f2ce8-a656-480c-91af-96057798fbf9/turkce-metinlerde-derin-ogrenme-yontemleri-kullanilarak-duygu-analizi>
- Word2Vec. (5 September 2023). Wikipedia. Retrieved 24 December 2022 from <https://en.wikipedia.org/wiki/Word2vec>
- Yazgılı, E. (2021). Türkçe Metinlerde Makine Öğrenmesi Yöntemleri İle Siber Zorbalık Tespiti. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 12(2), 443-453. <https://doi.org/https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.935448>



Guidance and Control of a Short-Range Air-to-Surface Missile Using an Angle-Based Switched Guidance Approach

Bülent Özkan¹, Harun Gökçe^{2*}

¹ Gazi University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Depart., Ankara, Turkey (ORCID: 0000-0003-3112-9723), bozkan@gazi.edu.tr

^{2*} Gazi University, Faculty of Technology, Industrial Design Engineering Depart., Ankara, Turkey (ORCID: 0000-0002-2702-0111), harungokce@gazi.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 19 Temmuz 2023 ve Kabul Tarihi 30 Aralık 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10646702)

REFERENCE/ATIF: Özkan, B., Gökçe, H. (2024). Guidance and Control of a Short-Range Air-to-Surface Missile Using an Angle-Based Switched Guidance Approach. *European Journal of Science and Technology*, (53), 112-125.

Abstract

The success of homing missiles is dependent on the selected guidance law. As per their structures, the guidance laws have different performance characteristics. Namely, the linear homing guidance law results in smaller terminal miss distance than the proportional navigation guidance law. However, its maximum lateral acceleration requirement is higher. In this study, a switching algorithm is proposed to take the advantages of a selected set of guidance laws by applying on a short-range missile used in air-to-surface operations. As per the results of the simulations carried on the computer, it is witnessed that the switching scheme yields satisfactory terminal miss distance values. Moreover, the maximum acceleration need is reduced for the missile especially when its autopilot operates at a constant bandwidth value.

Keywords: Switching guidance, guidance and control, angle-based guidance, control actuation system, air-to-surface missile, short range missile.

Karadan Karaya Bir Merminin Burun Eyletim Kiti Kullanılarak Güdüm ve Denetimi

Öz

Güdümlü füzelerin başarısı seçilen güdüm kanununa bağlıdır. Yönlendirme kanunları yapıları itibariyle farklı performans özelliklerine sahiptir. Doğrusal güdüm rehberliği yasası, orantılı seyrişer kılavuzluğu yasasından daha küçük terminal kaçırma mesafesiyle sonuçlanır. Bununla beraber maksimum yanıl ivme gereksinimi daha yüksektir. Bu çalışmada, havadan karaya operasyonlarda kullanılan kısa menzilli bir füze için seçilmiş bir dizi güdüm kanununun avantajlarından yararlanacak bir anahtarlama algoritması önerilmektedir. Bilgisayarda yapılan simülasyon sonuçlarına göre anahtarlama şemasının tatmin edici terminal kaçırma mesafesi değerleri verdiği görülmüştür. Ayrıca füzenin otopilotunun sabit bant genişliği değerinde çalışması durumunda maksimum hızlanma ihtiyacı da azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Satıhtan satha mühimmatlar, güdümlü mermi, güdüm ve kontrol, burun eyletim kiti, itme kararsızlığı.

* Corresponding Author: harungokce@gazi.edu.tr

1. Introduction

Homing missiles have become very popular within the last years. This is because they have high capability on hitting intended target more precisely than their guided counterparts without damaging the surrounding of the target [1].

The success of the guided munition is dependent on their guidance and control algorithm. In this sense, the guidance scheme is more determinative for the achievement than the control method because the guidance scheme generates the command signals to the munition control system, or autopilot. For this reason, several guidance approaches are proposed for the guided munition. Regarding the homing missiles, the proportional navigation guidance (PNG), augmented proportional navigation guidance (APNG), velocity pursuit guidance (VPG), parabolic homing guidance (PHG), linear homing guidance (LHG), and body pursuit guidance (BPG) law are encountered in the literature among the popular guidance methods. Depending on the strategy of the guidance laws, they have different characteristics in performance criteria. Namely, the LHG law leads smaller terminal miss distance than PNG law, but its maximum lateral acceleration requirement is higher [1-4].

For the sake of taking the benefits of all possible guidance laws, they can be utilized in a selective scheme. In this concept, the most convenient guidance law can be selected and then applied on the missile at certain instants of the engagement scenario. The study which deals with a two stage PNG law for impact time control can be given as an example for this approach. In the mentioned work, the effective navigation ratio of the PNG law is switched from 1 to 2 at a certain instant of terminal guidance. In other words, the proposed guidance scheme begins with the VPG law and then passed to the PNG law. At the end of the computer simulations, it is shown that the approach makes the missile reach the specified destination at the desired impact time [5]. To control the impact angle of a physically constrained missile, a switched-gain guidance technique based on the PNG law is also given along with the relevant computer simulations [6]. In another study, a similar two-stage guidance law scheme is suggested to control the impact angle as well as the impact time. In this algorithm, a non-singular sliding mode control-based guidance law is utilized in the first stage and then switched to the PNG law when the missile gets closer to the target. This way, it becomes possible to satisfy the specified impact time and impact angle requirements [7]. Also, different dual-control guidance techniques are proposed to increase the hitting accuracy of the homing missiles [8, 9, 10, 11].

In this study, a switched guidance scheme is constructed by involving the PNG, APNG, VPG, PHG, LHG, and BPG laws. In the suggested scheme, the guidance laws are arranged such that they generate the guidance commands in the form of the flight path angles of the missile. During application, all those laws are compared at the beginning of each time segment and the most suitable one is selected for the forthcoming segment as per the considered performance index. The performance index is designated to minimize the terminal miss distance quantity as well as the maximum acceleration requirement for the considered missile. This procedure is repeated for all the time segments on the engagement duration. Since there exist no dramatical variations on the amount of the guidance commands due to switching, the missile autopilot maintains its stability over all the engagement scenarios. The relevant computer simulations are conducted regarding a missile aimed at utilizing in short range engagements for air-to-surface operations against stationary and manoeuvring ground target models. Also, the bandwidth of the missile autopilots is considered both in constant and varying modes. At the end of the simulations, it is observed that the suggested switching guidance scheme produces smaller terminal miss distance and maximum lateral acceleration requirement especially when the bandwidth of the missile autopilot becomes unchanged. The attained results vary depending on the weighting gain values used in the performance index.

2. Dynamic Modelling of the Missile

In the extent of the study, an aerodynamically controlled single-part missile having canard-type control surfaces is dealt with as schematized in Fig. 1 where δ_i indicates the deflection of the control fins of the missile.

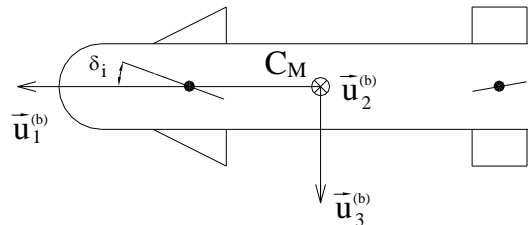


Figure 1. Single-part missile model [4] (Şekil 1. Tek parçalı füze modeli)

The governing differential equations of the missile describing its motion in space can be written as follows [4, 10]:

$$\dot{u} - rv + qw = (X + X_T)/m + g_x \quad (1)$$

$$\dot{v} + ru - pw = (Y + Y_T)/m + g_y \quad (2)$$

$$\dot{w} - qu + pv = (Z + Z_T)/m + g_z \quad (3)$$

$$\dot{p} = L/I_a \quad (4)$$

$$\dot{q} - pr = (M + M_T)/I_t \quad (5)$$

$$\dot{r} + pq = (N + N_T)/I_t \quad (6)$$

As C_M and $\vec{u}_i^{(b)}$ ($i=1, 2, \text{ and } 3$) stand for the mass center of the missile and the unit vectors of the body-fixed reference frame F_b , respectively, the following definitions are made for the regarded missile configuration in Eqs. (1) through (6):

m : mass

I_a : axial moment of inertia component

I_t : transversal moment of inertia component

p, q and r : angular velocity components in the roll, pitch, and yaw directions

u, v and w : linear velocity components along $\vec{u}_1^{(b)}, \vec{u}_2^{(b)}$, and $\vec{u}_3^{(b)}$ directions

X, Y and Z : aerodynamic force components at point C_M along $\vec{u}_1^{(b)}, \vec{u}_2^{(b)}$, and $\vec{u}_3^{(b)}$ directions

L, M and N : aerodynamic moment components in the roll, pitch, and yaw directions

X_T, Y_T and Z_T : components of the thrust force vector at point C_M

L_T, M_T and N_T : thrust misalignment moment vector components

g_x, g_y and g_z : gravity vector components at point C_M

The present work deals with the terminal phase of the guidance scheme for the missile. Thus, the governing differential equations describing the motion of the missile in the space given Eqs. (1) through (6) are reduced to the forms below by regarding the end of thrust in this phase [4]:

$$\dot{u} - rv + qw = (X/m) + g_x \quad (7)$$

$$\dot{v} + ru - pw = (Y/m) + g_y \quad (8)$$

$$\dot{w} - qu + pv = (Z/m) + g_z \quad (9)$$

$$\dot{p} = L/I_a \quad (10)$$

$$\dot{q} - pr = M/I_t \quad (11)$$

$$\dot{r} + pq = N/I_t \quad (12)$$

The aerodynamic terms within Eqs. (7) through (12) are expressed as functions of the dynamic pressure (q_∞), missile cross-sectional area (S_M), and missile diameter (d_M) as follows [4, 10]:

$$X = C_x q_\infty S_M \quad (13)$$

$$Y = C_y q_\infty S_M \quad (14)$$

$$Z = C_z q_\infty S_M \quad (15)$$

$$L = C_l q_\infty S_M d_M \quad (16)$$

$$M = C_m q_\infty S_M d_M \quad (17)$$

$$N = C_n q_\infty S_M d_M \quad (18)$$

As ρ stands for the density of air at the designated altitude and $\pi \approx 3.14$, q_∞ and S_M can be obtained as [4]:

$$q_\infty = (1/2)\rho v_M^2 \quad (19)$$

$$S_M = (\pi/4)d_M^2 \quad (20)$$

Denoting the absolute value of the velocity vector of the missile by v_M , the aerodynamic coefficients C_x, C_y, C_z, C_l, C_m and C_n parameters are expanded into linear expressions in terms of the angle of attack (α), side-slip angle (β), aileron, elevator, and rudder deflections (δ_a, δ_e and δ_r) p, q and r as given below [4]:

$$C_x = C_{x0} \quad (21)$$

$$C_y = C_{y\beta}\beta + C_{y\delta}\delta_r + C_{y_r}r \quad (22)$$

$$C_z = C_{z\alpha}\alpha + C_{z\delta}\delta_e + C_{z_q}\tau q \quad (23)$$

$$C_l = C_{l\delta}\delta_a + C_{l_p}\tau p \quad (24)$$

$$C_m = C_{m\alpha}\alpha + C_{m\delta}\delta_e + C_{m_q}\tau q \quad (25)$$

$$C_n = C_{n\beta}\beta + C_{n\delta}\delta_r + C_{n_r}r \quad (26)$$

Here, $\tau = d_M/(2v_M)$ and C_{x0} denotes a static aerodynamic axial force component. Moreover, the stability derivatives represented by $C_{y\beta}$, $C_{y\delta}$, C_{y_r} , $C_{z\alpha}$, $C_{z\delta}$, C_{z_q} , $C_{l\delta}$, C_{l_p} , $C_{m\alpha}$, $C_{m\delta}$, C_{m_q} , $C_{n\beta}$, $C_{n\delta}$ and C_{n_r} are functions of Mach number (M_∞). During the simulations carried on the computer, the gains are updated continuously as per the present corresponds of the relevant flight parameters. In Eqs. (21) through (26), α and β are defined in the next manner [4]:

$$\alpha = \arctan(w/u) \quad (27)$$

$$\beta = \arcsin(v/v_M) \quad (28)$$

Beside these expressions δ_a , δ_e , δ_r are the angular deflections realized by the aerodynamic control surfaces and are described using the fin deflections as follows [4]:

$$\delta_a = (\delta_1 + \delta_3)/2 \quad (29)$$

$$\delta_e = (\delta_2 - \delta_4)/2 \quad (30)$$

$$\delta_r = (\delta_1 - \delta_3)/2 \quad (31)$$

3. Guidance Law

The proposed switched guidance approach is established by regarding the PNG, APNG, VPG, PHG, LHG, and BPG laws such that their commands are generated as to be reference signals in the sense of the missile flight path angle components.

3.1. Proportional Navigation Guidance Law

According to the PNG law, the command acceleration components of the missile, i.e. a_y^c and a_p^c , can be written in the yaw and pitch planes in the forthcoming way [4]:

$$a_y^c = N_y v_M [\dot{\lambda}_y \cos(\gamma_m) - \dot{\lambda}_p \sin(\gamma_m) \sin(\lambda_y - \eta_m)] \quad (32)$$

$$a_p^c = -N_p v_M \dot{\lambda}_p \cos(\lambda_y - \eta_m) \quad (33)$$

where N_y and N_p stand for the effective navigation ratios in the yaw and pitch planes, λ_y and λ_p indicate the yaw and pitch components of the line-of-sight (LOS) angle, and η_m and γ_m denote the missile flight path angle components in the yaw and pitch planes.

Dividing the acceleration commands in Eqs. (32) and (33) by v_M , they are converted to the commands for guidance in terms of the rates of the flight path angles, i.e. $\dot{\gamma}_m^c$ and $\dot{\eta}_m^c$:

$$\dot{\eta}_m^c = N_y [\dot{\lambda}_y \cos(\gamma_m) - \dot{\lambda}_p \sin(\gamma_m) \sin(\lambda_y - \eta_m)] \quad (34)$$

$$\dot{\gamma}_m^c = -N_p \dot{\lambda}_p \cos(\lambda_y - \eta_m) \quad (35)$$

As t_1 and t_2 indicate the initial and final time instants of each discrete integration segment, the integration of Eqs. (34) and (35) over time yields the PNG commands in flight path angles, i.e. η_m^c and γ_m^c as done below:

$$\eta_m^c = \int_{t_1}^{t_2} \dot{\eta}_m^c dt \quad (36)$$

$$\gamma_m^c = \int_{t_1}^{t_2} \dot{\gamma}_m^c dt \quad (37)$$

3.2. Augmented Proportional Navigation Guidance Law

Adding the half amount of the lateral component of the considered lateral acceleration of the target in the considered engagement plane to the PNG commands in Eqs. (32) and (33), then the acceleration commands can be determined as per the APNG law [4]. In a similar manner for the PNG law, the division of the mentioned acceleration commands by v_M results in the APNG commands in terms of $\dot{\eta}_m^c$ and $\dot{\gamma}_m^c$ in the next form:

$$\dot{\eta}_m^c = -N_y \{ \dot{\lambda}_p \cos(\lambda_y - \eta_m) + [a_T^t \cos(\eta_m - \eta_t) + a_T^n \sin(\eta_m - \eta_t)] \sin(\gamma_m) / (2v_M) \} \quad (38)$$

$$\dot{\gamma}_m^c = N_p \{ \dot{\lambda}_y \cos(\gamma_m) - \dot{\lambda}_p \sin(\gamma_m) \sin(\lambda_y - \eta_m) + [a_T^n \cos(\eta_m - \eta_t) - a_T^t \sin(\eta_m - \eta_t)] / (2v_M) \} \quad (39)$$

where a_T^t and a_T^n represent the target acceleration vector components in the tangential and normal directions and η_t denotes the target heading angle on the horizontal plane. Eventually, the flight path angle commands of the APNG law, i.e. η_m^c and γ_m^c , can be generated by considering Eqs. (36) and (37).

3.3. Velocity Pursuit Guidance Law

The VPG guidance commands aiming at coinciding the missile velocity vector with the LOS vector can simply be determined by inserting unity to N_y and N_p to be unity in Eqs. (34) and (35) [4].

3.4. Parabolic Homing Guidance Law

Driving the missile towards an intended target point by forcing it to follow a parabolic trajectory, the PHG dictates the guidance commands in the acceleration form as follow [11]:

$$a_y^c = (d_1 + d_2) \sin(\gamma_m) + d_3 \cos(\gamma_m) \quad (40)$$

$$a_p^c = -d_1 \sin(\eta_m) + d_2 \cos(\eta_m) \quad (41)$$

As the symbols v_{Ti} and a_{Ti} refer to the target velocity components and acceleration vectors on axis $i=xyz$ respectively. Forthcoming definitions are made in Eqs. (40) and (41) where Δ_t stands for the duration for the missile to reach the prescribed intercept point from its current position and $\Delta_x, \Delta_y,$ and Δ_z denotes the relative position vector components between missile and target:

$$d_1 = 2[(v_{Tx} - v_M \cos(\eta_m) \cos(\gamma_m))/\Delta t - (\Delta x/\Delta t^2)] + a_{Tx}$$

$$d_2 = 2[(v_{Ty} - v_M \sin(\eta_m) \cos(\gamma_m))/\Delta t - (\Delta y/\Delta t^2)] + a_{Ty}$$

$$d_3 = 2[(v_{Tz} + v_M \sin(\gamma_m))/\Delta t - (\Delta z/\Delta t^2)] + a_{Tz}$$

Applying the same approach as the cases with the PNG, APNG, and VPG laws, the flight path angle rate commands can be produced for the PHG law when the expressions in Eqs. (40) and (41) are divided by v_M :

$$\dot{\eta}_m^c = [(d_1 + d_2) \sin(\gamma_m) + d_3 \cos(\gamma_m)]/v_M \quad (42)$$

$$\dot{\gamma}_m^c = [-d_1 \sin(\eta_m) + d_2 \cos(\eta_m)]/v_M \quad (43)$$

The corresponding flight path angle commands come into the picture when Eqs. (42) and (43) are subjected to the time integration as given within Eqs. (36) and (37).

3.5. Linear Homing Guidance Law

Unlike the PHG law, the missile is intended to be oriented towards the target by dictating a linear trajectory so as to keep it always on the collision triangle, which is formed by the considered missile, intended target, and predicted intercept point. For this method, the flight path angles are directly generated as the resultant guidance commands in the following manner [4, 10, 11]:

$$\eta_m^c = \arctan[(v_{Ty}\Delta t - \Delta y)/(v_{Tx}\Delta t - \Delta x)] \quad (44)$$

$$\gamma_m^c = \arctan\left[\frac{\Delta z - v_{Tz}\Delta t}{(v_{Tx}\Delta t - \Delta x) \cos(\eta_m) + (v_{Ty}\Delta t - \Delta y) \sin(\eta_m)}\right] \quad (45)$$

3.6. Body Pursuit Guidance Law

Since it is necessary in the BPG law to align the missile longitudinal axis with the LOS vector, the commands for the guidance in the yaw and pitch planes (ψ_c and θ_c) can be derived as ψ and θ denote the yaw and pitch angles of the missile [4]:

$$\psi^c = \lambda_y \quad (46)$$

$$\theta^c = \lambda_p \quad (47)$$

Using the BPG commands in Eqs. (46) and (47), the corresponding flight path angle commands can be obtained using the next kinematic relationships [4]:

$$\eta_m^c = \psi^c + [\beta / \cos(\theta)] \quad (48)$$

$$\gamma_m^c = \theta^c - \alpha \quad (49)$$

4. Switching Guidance Schema

In order to take the advantages of the mentioned guidance laws, a compound guidance scheme is proposed in the present study. In this extent, the guidance laws are arranged to yield their command signals in terms of the flight path angles of the missile and they are compared in accordance with a designated performance index momentarily. At each decision instant, the guidance law which makes the performance index minimum is selected.

As indicated in the related studies, the parameters of the terminal miss distance and maximum acceleration requirement have a significant role in choosing the most convenient guidance law. For the same engagement conditions, the total engagement time does not change considerably [4, 10, 11]. Regarding this fact, the performance index is designated by accounting the terminal miss distance in addition to the maximum acceleration requirement criteria in this study.

For a successful interception of missile and target, their velocity components normal to the LOS should be equal [12, 13]. Regarding the missile-target engagement geometry, this condition can be expressed in mathematical sense for the yaw and pitch planes as follows:

$$v_M \sin(\eta_m - \lambda_y) = v_T \sin(\eta_t - \lambda_y) \quad (50)$$

$$v_M \sin(\gamma_m - \lambda_p) = v_T \sin(\gamma_t - \lambda_p) \quad (51)$$

where v_T and γ_t stand for the target velocity vector magnitude and the heading angle of the target on the vertical plane, respectively. Hence, the flight path angle components required for a successful intercept i.e. η_{int} and γ_{int} are picked from Eqs. (50) and (51) as given below:

$$\eta \gamma \sin[v_T \sin(\eta_t - \lambda_y) / v_M]_{int} \quad (52)$$

$$\gamma \rho \sin[v_T \sin(\gamma_t - \lambda_p) / v_M]_{int} \quad (53)$$

The error terms calculated as the difference between the ideal and reference flight path angle values in both planes (e_η and e_γ) can be introduced in the forthcoming fashion:

$$e_\eta = |\eta_{int} - \eta_m^c| \quad (54)$$

$$e_\gamma = |\gamma_{int} - \gamma_m^c| \quad (55)$$

The lower e_η and e_γ in Eqs. (54) and (55) results in the smaller the terminal miss distance.

As mentioned above, another criterion in deciding on the performance of the guidance laws is the maximum acceleration requirement of the missile. Since the final guidance stage called the terminal guidance phase with no thrust is handled in the present engagement scenarios, the tangential component of the missile is out of concern. Thus, only lateral component of the missile acceleration vector will be under consideration. Regarding that the absolute value of the instantaneous velocity vector of the missile does not change so much in all guidance laws, the squares of the flight path angles correspond to the lateral components of the linear acceleration. Once the sum of the squares of the rates of the flight path angles are kept as small as possible, the resulting total requirement on the acceleration components of the missile in lateral sense will become in a minimum level. Regarding the two criteria introduced above, the performance index (J) for switching is established as follows:

$$J = \int_{t_0}^{t_F} k_a (e_\eta^2 + e_\gamma^2) + k_r (\dot{\eta}_m^2 + \dot{\gamma}_m^2) dt \quad (56)$$

where k_a and k_r denote the weighting gains corresponding to the terminal value of the miss distance and maximum acceleration requirement, respectively. Also, t_0 and t_F stand for the initial and final time instants. In order to normalize the gains, they are selected such that they satisfy the condition of $\sqrt{k_a^2 + k_r^2} = 1$.

5. Angle Control System

For the conversion of the guidance commands yielded by the guidance laws to physical motion, an angle control system is designed by accounting the integral of the error defined between the reference and actual quantities belonging to the controlled state variable, i.e. flight path angle, is introduced as an additional state variable (x_i).

As the gravity is taken as external disturbance, it makes sense to designate the forthcoming state feedback control law in both the pitch plane separately to make the control of the corresponding fight path angle of the missiles [11]:

$$u = \delta_e = k_\gamma (\gamma_m^c - \gamma_m) - k_\theta \theta - k_q q + k_i x_i \quad (57)$$

where k_γ , k_θ , k_q , and k_i show the gains of the controller for the relevant state variables i.e. γ_m , θ , q , and x_i .

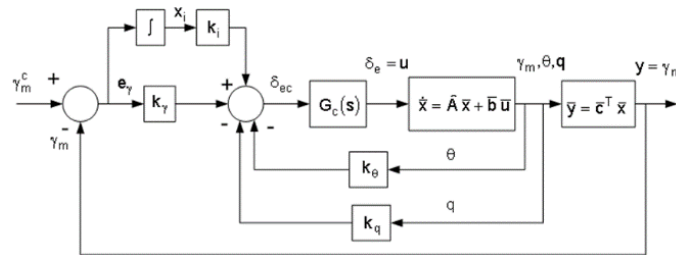


Figure 2. Angle control system [4] (Şekil 2. Açığı kontrol sistemi)

Arranging the expressions denoting the missile motion, the closed loop transfer function i.e. γ_m^c and γ_m can be obtained between the amount of the desired and actual flight path angles in the pitch plane according to Fig. 2 as follows [4]:

$$\frac{\gamma_m(s)}{\gamma_m^c(s)} = \frac{n_{\gamma_3} s^3 + n_{\gamma_2} s^2 + n_{\gamma_1} s + 1}{d_{\gamma_4} s^4 + d_{\gamma_3} s^3 + d_{\gamma_2} s^2 + d_{\gamma_1} s + 1} \quad (58)$$

where, as the letter “s” indicates the variable of the Laplace transformation,

$$n_{\gamma_1} = (k_\gamma a_{\alpha\delta} + k_i a_{\delta q}) / (k_i a_{\alpha\delta}),$$

$$n_{\gamma_2} = (a_{\alpha\delta} a_{\delta q} k_\gamma + a_{\alpha\delta} k_i Z_\delta) / (a_{\alpha\delta} a_{\alpha\delta} k_i),$$

$$\begin{aligned}
 n_{\gamma 3} &= (Z_{\delta} k_{\gamma}) / (a_{\alpha \delta} k_i), \\
 d_{\gamma 1} &= [a_{\alpha \delta} (k_{\theta} + k_{\gamma}) + k_i a_{\delta q}] / (k_i a_{\alpha \delta}), \\
 d_{\gamma 2} &= (M_{\alpha} + M_{\delta} k_{\theta} - a_{\alpha q} + a_{\alpha \delta} k_q + a_{\delta q} k_{\gamma} + Z_{\delta} k_i) / (k_i a_{\alpha \delta}), \\
 d_{\gamma 3} &= [M_{\delta} k_q + Z_{\delta} k_{\gamma} - (M_q + Z_{\alpha})] / (k_i a_{\alpha \delta}), \\
 d_{\gamma 4} &= 1 / (k_i a_{\alpha \delta}); a_{\alpha \delta} = M_{\delta} Z_{\alpha} - M_{\alpha} Z_{\delta}, \\
 a_{\delta q} &= M_{\delta} Z_q - M_q Z_{\delta}, \text{ and } a_{\alpha q} = M_q Z_{\alpha} - M_{\alpha} Z_q.
 \end{aligned}$$

The characteristic polynomial of the transfer function in Eqn. (58) is given below:

$$D(s) = d_{\gamma 4} s^4 + d_{\gamma 3} s^3 + d_{\gamma 2} s^2 + d_{\gamma 1} s + 1 \quad (59)$$

In order to obtain the gains of the controller i.e. k_{γ} , k_{θ} , k_q and k_i ; the fourth-order Butterworth polynomial described in Eq. (60) can be utilized in the pole placement again with a damping ratio of 0.707 [4]:

$$B_4(s) = (1/\omega_c^4) s^4 + (2.613/\omega_c^3) s^3 + (3.414/\omega_c^2) s^2 + (2.613/\omega_c) s + 1 \quad (60)$$

where ω_c denotes the assigned bandwidth value in *rad/s*. Comparing Eq. (59) to Eq. (60), the matrix equation to solve k_{γ} , k_{θ} , k_q and k_i becomes:

$$[k_{\gamma} \quad k_{\theta} \quad k_q \quad k_i]^T = \widehat{M}_k^{-1} \bar{b}_k \quad (61)$$

$$\text{where } \widehat{M}_k = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & a_{\alpha \delta} \\ Z_{\delta} & 0 & M_{\delta} & \frac{-2.613 a_{\alpha \delta}}{\omega_c^3} \\ a_{\delta q} & M_{\delta} & a_{\alpha \delta} & Z_{\delta} - \frac{3.414 a_{\alpha \delta}}{\omega_c^2} \\ a_{\alpha \delta} & a_{\alpha \delta} & 0 & a_{\alpha q} - \frac{2.613 a_{\alpha \delta}}{\omega_c} \end{bmatrix}, \text{ and } \bar{b}_k = \begin{bmatrix} \omega_c^4 \\ M_q + Z_{\alpha} \\ a_{\alpha q} - M_{\alpha} \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Similar to the pitch plane derivation, the transfer function of the closed-loop transfer function belonging to the flight path angle control system can be adapted to the yaw plane from the control system in the pitch plane using the same structure by introducing $n_{\eta 1}$, $n_{\eta 2}$, $n_{\eta 3}$, $d_{\eta 1}$, $d_{\eta 2}$, $d_{\eta 3}$, and $d_{\eta 4}$ [4]:

$$\frac{\eta_m(s)}{\eta_m^c(s)} = \frac{n_{\eta 3} s^3 + n_{\eta 2} s^2 + n_{\eta 1} s + 1}{d_{\eta 4} s^4 + d_{\eta 3} s^3 + d_{\eta 2} s^2 + d_{\eta 1} s + 1} \quad (62)$$

Similar to the pitch plane derivation, the transfer function of the closed-loop transfer function belonging to the flight path angle control system can be adapted to the yaw plane from the control system in the pitch plane using the same structure by introducing $n_{\eta 1}$, $n_{\eta 2}$, $n_{\eta 3}$, $d_{\eta 1}$, $d_{\eta 2}$, $d_{\eta 3}$, and $d_{\eta 4}$ [4].

In this study, the angle autopilots are operated in two different modes in one of which the bandwidth [fc(t)] is maintained constant throughout the whole computer simulations. In the second mode, the initial value of the bandwidth reaches its designated final value at the end of a specified time duration and then it remains at that level till the termination of the related simulation for the sake of diminishing the high initial requirement for the acceleration of the relevant guidance law as formulated below [4]:

$$f_c(t) = \begin{cases} a \cdot t + b & , \text{ for } t_0 \leq t < t_F \\ f_c(t_F) & , \text{ for } t \geq t_F \end{cases} \quad (63)$$

where $a = [f_c(t_0) - f_c(t_F)] / (t_0 - t_F)$, and $b = [f_c(t_F) t_0 - f_c(t_0)] t_F / (t_0 - t_F)$.

6. Target Kinematics

Assuming that the change in altitude is negligible, the motion of the ground target is described on the horizontal plane. In this consideration, the normal and tangential acceleration components of the target, (a_T^n and a_T^t) v_T and η_t are taken into account. Introducing a_T^n and a_T^t in addition to the initial target velocity values and heading angle (v_{T0} and η_{t0}) v_T and η_t are calculated depending on time i.e. t , by the next integral functions with σ denoting the integration variable [4]:

$$v_T(t) = v_{T0} + \int_{t_0}^t a_T^t(\sigma) d\sigma \quad (64)$$

$$\eta_t(t) = \eta_{t0} + \int_{t_0}^t [a_T^n(\sigma) / v_T(\sigma)] d\sigma \quad (65)$$

Regarding their initial values (x_{T0} , y_{T0} and z_{T0}) the target position can be described by the next expressions on the horizontal plane as functions of time:

$$x_T(t) = x_{T0} + \int_{t_0}^t v_T(\sigma) \cos(\eta_t(\sigma)) d\sigma \quad (66)$$

$$y_T(t) = y_{T0} + \int_{t_0}^t v_T(\sigma) \sin(\eta_t(\sigma)) d\sigma \quad (67)$$

$$z_T(t) = z_{T0} \quad (68)$$

Here, since z_{T0} is much smaller than x_{T0} and y_{T0} , it is treated to be constant throughout the engagement.

7. Missile-Target Engagement Model

The engagement geometry between the missile and target can be described by the following relationships where $r_{T/M}$ stands for the magnitude of the LOS vector ($\vec{r}_{T/M}$) [4]:

$$r_{T/M} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad (69)$$

$$\lambda_p = \arctan[-\Delta z \cos(\lambda_y) / \Delta x] \quad (70)$$

$$\lambda_y = \arctan(\Delta y / \Delta x) \quad (71)$$

$$d_{miss} = \sqrt{\Delta x^2(t_F) + \Delta y^2(t_F)} \quad (72),$$

The calculation of the total miss distance at the end of the engagement (d_{miss}) at $t=t_F$ where t_F represents the final time of the engagement is made using the next expression by regarding the condition in which the vertical component of $r_{T/M}$ vanishes i.e. $\Delta z=0$ [4].

8. Computer Simulation

Regarding the PNG, APNG, VPG, PHG, LHG, and BPG laws whose commands are in the flight path angles, computer simulations are performed for the terminal guidance phase of the missile by considering stationary and maneuvering targets. In the simulations, the considered guidance laws are first applied to the missile from the beginning to the termination of the engagement scenarios. Then, they are utilized in a switching algorithm explained above. In the switching scheme, three different cases are taken into consideration for 1, 0.5, and 0 values of k_a . The maneuvering target has the lateral acceleration of 0.3-g ($g=9.81 \text{ m/s}^2$) and initial speed of 80 km/h. The effective navigation ratios of the PNG and APNG laws (N_y and N_p) are selected to be 3 and bandwidth of both control systems taking the control variables as acceleration and angular displacement are set to 5 Hz ($\omega_c= 31.4 \text{ rad/s}$) [4]. The engagement simulations are ceased while the vertical component of the relative position vector becomes below 0.5 m between the missile and target.

Moreover, the control actuation system in the missile control system is modeled in the form of a second-order system possessing a 20 Hz bandwidth value. Also, the operating frequencies are set to 110 Hz for the gyroscopes and accelerometers [4, 8]. In the computer simulations, the numerical values are considered for the essential as given in Table 1. The mentioned numerical values of the missiles are selected in a manner compatible with the dimensions and inertial parameters of a tactical 2.75 inches air-to-surface missile.

Table 1. Essential parameters for the single-part missile [4] (Tablo 1. Tek parçalı füze için temel parametreler)

| Parameter | Symbol | Value |
|-----------------------------------|-----------|---------------------------------|
| Diameter | d_M | 70 mm |
| Cross-Sectional Area | S_M | 3848.5 mm ² |
| Total Length | L_M | 2000 mm |
| Total Mass | m | 17.55 kg |
| Axial Moment of Inertia | I_a | 0.0214 kg·m ² |
| Transversal Moment of Inertia | I_t | 5.855 kg·m ² |
| Acceleration Limit of the Missile | a_{max} | 30·g ($g=9.81 \text{ m/s}^2$) |

The aerodynamic coefficients in the model are calculated by regarding the M_∞ range of 0.5 to 1.5, δ_a , δ_e and δ_r ranges of -20 to 20°, and α and β ranges of -9 to 9° using the Missile Datcom software. During the simulations the aerodynamic coefficients are continuously updated using relevant look-up tables prepared for the ranges given above. The initial values are submitted in Table 2 for the missile and target kinematic parameters in the conducted engagement scenarios are.

The related simulations are performed using the MATLAB[®] Simulink[®] software for the constant and varying bandwidth cases of the angle autopilots taking the comparison criteria to be the miss distance at the termination of the engagement, engagement time, and maximum acceleration demand. The data acquired from these simulations are submitted in Table 3 and Table 4 respectively.

The engagement geometry of the scenarios numbered 1, 10, 14, and 17 are submitted Fig. 3 through Fig. 6. For the scenarios in which the switching scheme is utilized, which guidance laws are chosen among the six laws in time as per the performance index in Eq. (56) are sampled with scenarios numbered 16, 17, 18, and 35 in Fig. 7 through Fig. 10. In these plots, the discrete numbers are assigned to the guidance laws in the following manner: 1: LHG, 2: VPG, 3: PNG, 4: APNG, 5: PHG, and 6: BPG.

Table 2. Conditions for the missile-target engagement for the computer simulations (Tablo 2. Bilgisayar simülasyonları için füze-hedef angajmanı koşulları)

| Parameter | Value | Parameter | Value | Parameter | Value |
|---------------------------|----------------------------|--------------------------|--------|-------------|-------|
| x_{M0} | 0 | q_0 and r_0 | 5 rpm | η_{t0} | 0 |
| y_{M0} | 0 | α_0 and β_0 | 0 | a_T^t | 0 |
| z_{M0} | 250 m | x_{T0} | 5000 m | t_0 | 0 |
| v_{M0} | 510 m/s ($M_\infty=1.5$) | y_{T0} | 500 m | t_F | 1 s |
| η_{m0} γ_{m0} | 0 | z_{T0} | 0 | $f_c(t_0)$ | 1 Hz |
| p_0 | 50 rpm | v_{T0} | 22 m/s | $f_c(t_F)$ | 5 Hz |

Table 3. Results of the computer simulations with constant bandwidth angle autopilots (Tablo 3. Sabit bant genişliği açılı otopilotlarla yapılan bilgisayar simülasyonlarının sonuçları)

| Scenario Number | Target Type | Guidance Law | Terminal Miss Distance (m) | Total Engagement Time (s) | Maximum Acceleration Req. (g) |
|-----------------|-------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 1 | Stationary | PNG | 9.643 | 16.687 | 14.252 |
| 2 | | APNG | 10.030 | 16.686 | 14.252 |
| 3 | | VPG | 9.037 | 16.690 | 14.252 |
| 4 | | PHG | 9.905 | 16.690 | 14.252 |
| 5 | | LHG | 8.938 | 16.690 | 14.252 |
| 6 | | BPG | 504.429 | 12.711 | 355.711 |
| 7 | | Switching- $k_a=1$ | 6.121 | 16.793 | 14.260 |
| 8 | | Switching- $k_a=0.5$ | 6.652 | 16.774 | 14.252 |
| 9 | | Switching- $k_a=0$ | 6.769 | 16.759 | 14.252 |
| 10 | Maneuvering | PNG | 9.505 | 17.454 | 14.252 |
| 11 | | APNG | 8.243 | 17.440 | 14.252 |
| 12 | | VPG | 9.280 | 17.533 | 166.887 |
| 13 | | PHG | 7.669 | 17.446 | 14.252 |
| 14 | | LHG | 8.031 | 17.440 | 32.308 |
| 15 | | BPG | 579.900 | 12.541 | 356.352 |
| 16 | | Switching- $k_a=1$ | 8.031 | 17.440 | 32.308 |
| 17 | | Switching- $k_a=0.5$ | 7.873 | 17.544 | 35.010 |
| 18 | | Switching- $k_a=0$ | 3.492 | 17.992 | 39.010 |

Table 4. Results of the computer simulations in the yaw plane with varying bandwidth angle autopilots (Tablo 4. Değişken bant genişliği açısına sahip otopilotlarla sapma düzlemindeki bilgisayar simülasyonlarının sonuçları)

| Scenario Number | Target Type | Guidance Law | Terminal Miss Distance (m) | Total Engagement Time (s) | Maximum Acceleration Req.(g) |
|-----------------|-------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 19 | Stationary | PNG | 8.271 | 16.703 | 6.490 |
| 20 | | APNG | 9.867 | 16.670 | 6.490 |
| 21 | | VPG | 8.332 | 16.701 | 6.352 |
| 22 | | PHG | 8.036 | 16.704 | 6.423 |
| 23 | | LHG | 7.293 | 16.708 | 6.353 |
| 24 | | BPG | 506.418 | 12.197 | 387.218 |
| 25 | | Switching- $k_a=1$ | 9.330 | 16.797 | 6.036 |
| 26 | | Switching- $k_a=0.5$ | 9.342 | 16.796 | 6.034 |
| 27 | | Switching- $k_a=0$ | 8.076 | 16.802 | 6.035 |
| 28 | Maneuvering | PNG | 8.043 | 17.486 | 6.458 |
| 29 | | APNG | 8.780 | 17.449 | 7.178 |
| 30 | | VPG | 9.100 | 17.544 | 230.627 |
| 31 | | PHG | 8.451 | 17.455 | 6.900 |
| 32 | | LHG | 7.579 | 17.473 | 8.270 |
| 33 | | BPG | 583.467 | 12.525 | 386.983 |
| 34 | | Switching- $k_a=1$ | 7.579 | 17.473 | 8.270 |
| 35 | | Switching- $k_a=0.5$ | 8.512 | 17.560 | 34.855 |
| 36 | | Switching- $k_a=0$ | 12.309 | 18.138 | 40.500 |

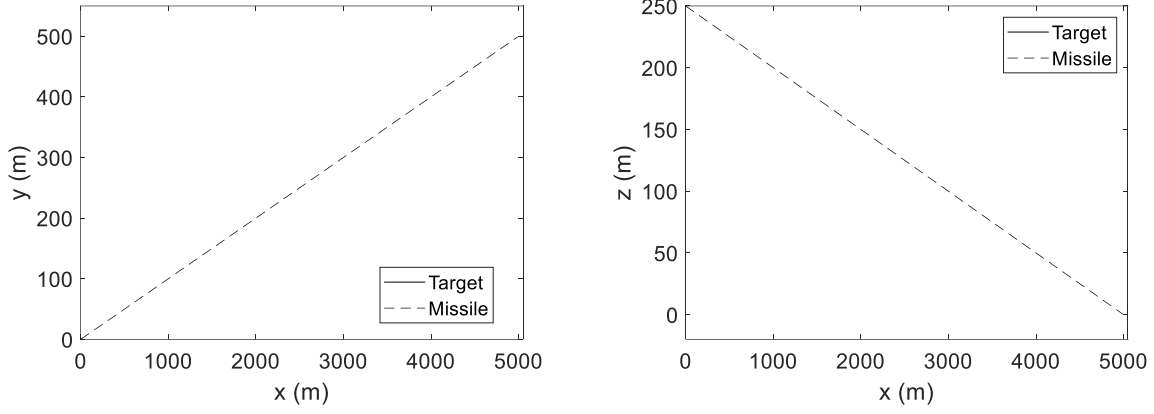


Figure 3. Engagement graph in scenario number 1 (Şekil 3. 1 numaralı senaryoda etkileşim grafiği)

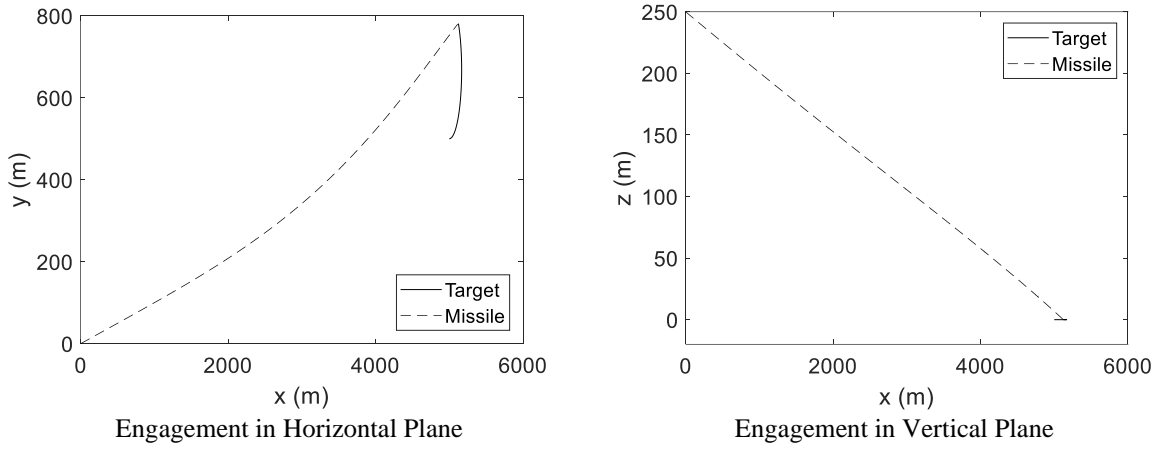


Figure 4. Engagement graph in scenario number 10 (Şekil 4. 10 numaralı senaryoda etkileşim grafiği)

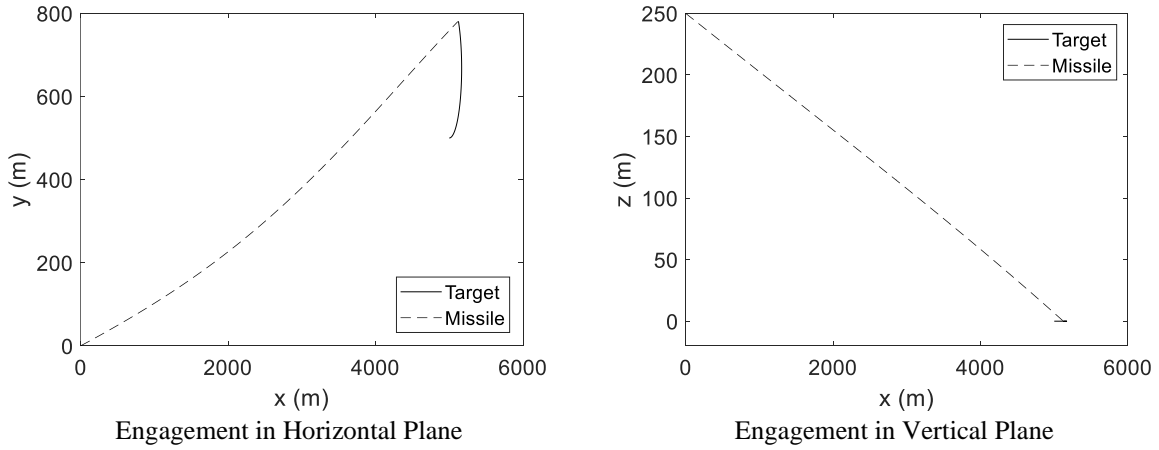


Figure 5. Engagement graph in scenario number 14 (Şekil 5. 14 numaralı senaryoda etkileşim grafiği)

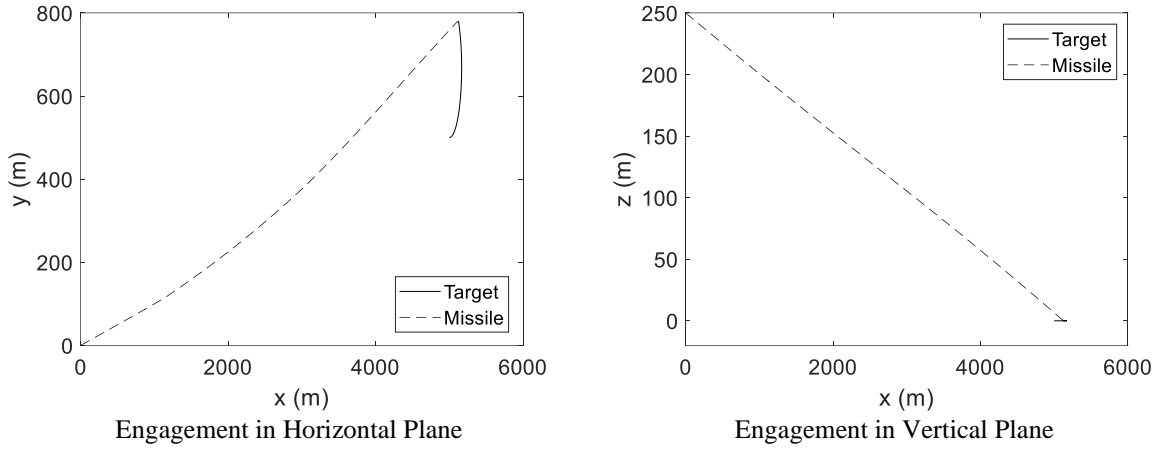


Figure 6. Engagement graph in scenario number 17 (Şekil 6. 17 numaralı senaryoda etkileşim grafiği)

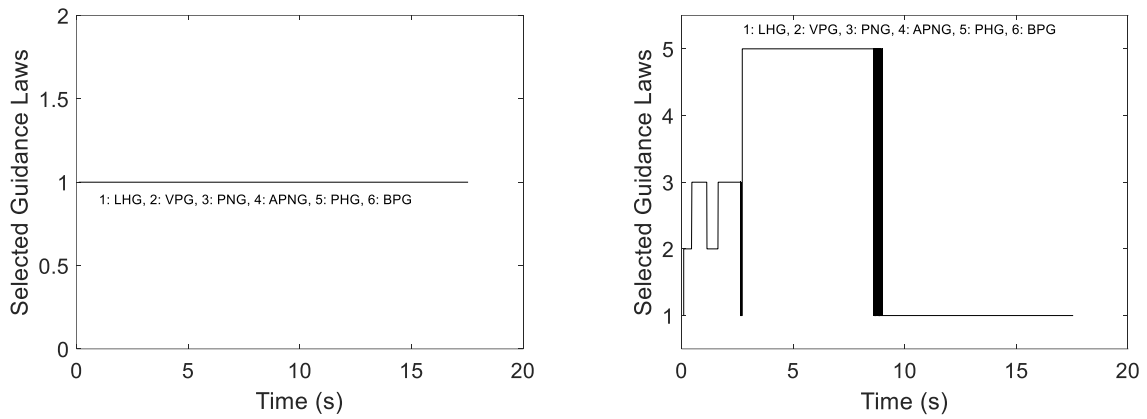


Figure 7. Selected guidance laws in scenario number 16 and number 17 (Şekil 7. 16 ve 17 numaralı senaryolarda seçilen yönlendirme yasaları)

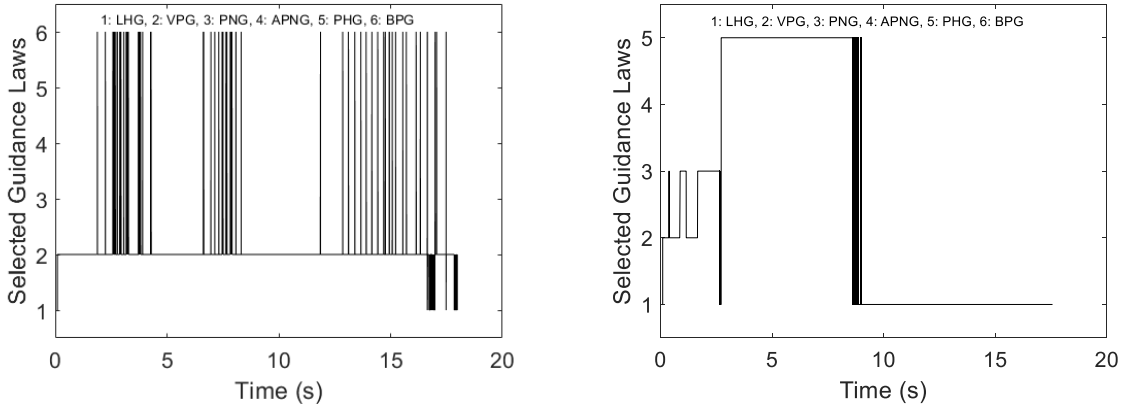


Figure 8. Selected guidance laws in scenario number 18 and number 35 (Şekil 8. 18 ve 35 numaralı senaryolarda seçilen yönlendirme yasaları)

8. Conclusions

Evaluating the data acquired from the computer simulations, it is seen that the proposed switching guidance algorithm yields small miss distance values compared to the other guidance laws depending on the engagement conditions and weighting gains. Here, the switching algorithm seems more successful when the missile autopilot operates at constant bandwidth values.

Although it produces smallest values with the autopilots having varying-bandwidth values against stationary targets, the algorithm does not provide an explicit advantage in the maximum acceleration requirements. Also, except the unsuccessful situations with the BPG law, the engagement time values happen to be almost the same regarding all the guidance laws under consideration. Even though the relevant simulation results are not presented in this study, it is observed that there exists almost no difference among the miss distance at the termination, engagement time, and maximum acceleration requirement values attained with these guidance laws including the switching guidance law when the resultant initial distance between the missile and target is below 3500 m.

As another consequence of this study, it is shown that guidance laws based on acceleration involving the PNG, APNG, VPG, and PHG laws can be turned into angle-based guidance laws leading satisfactory engagement results. Another interesting result of this work is that the BPG law which aims at coinciding the missile longitudinal axis with the LOS vector misses the target at a very large distance in all conditions considered.

Eventually, it can be concluded that the proposed switching guidance scheme can be applied to the missiles with an appropriate selection of weighting gains. As shown, better results should be expected if the related missile autopilot runs at a constant bandwidth value.

Nomenclature

- a_{max} acceleration limit of the missile (m/s²)
 a_p^c component of the command acceleration to the missile in the pitch plane (m/s²)
 a_T^n component of the target acceleration vector in normal direction (m/s²)
 a_T^t component of the target acceleration vector in tangential direction (m/s²)
 a_{Tx} component of the target acceleration vector in longitudinal direction (m/s²)
 a_{Ty} component of the target acceleration vector in lateral direction (m/s²)
 a_{Tz} component of the target acceleration vector in vertical direction (m/s²)
 a_y^c component of the command acceleration to the missile in the yaw plane (m/s²)
 C_i aerodynamic force and moment components ($i=x, y, z, l, m, n$)
 C_M mass center of the missile
 $D(s)$ characteristic polynomial
 d_M missile diameter (m)
 d_{miss} miss distance at the termination of the engagement between the missile and target (m)
 e_η error term for the flight path angle of the missile between its ideal and reference values of in the yaw plane (rad)
 e_γ error term for the flight path angle of the missile between its ideal and reference values of in the pitch plane (rad)
 F_b body-fixed reference frame of the missile
 $f_c(t)$ bandwidth of the missile autopilot (Hz)
 $f_c(t_0)$ bandwidth of the missile autopilot at the initial time instant
 $f_c(t_f)$ bandwidth of the missile autopilot at the final time instant
 g gravity (=9.81 m/s²)
 g_x gravity component acting on the missile mass center in longitudinal direction (m/s²)
 g_y gravity component acting on the missile mass center in lateral direction (m/s²)
 g_z gravity component acting on the missile mass center in vertical direction (m/s²)
 I_a moment of inertia component of the missile in axial sense (kg·m²)
 I_t moment of inertia component of the missile in a sense (kg·m²)
 J performance index for switching
 k_a weighting gain corresponding to the terminal miss distance.
 k_n pitch plane controller gains of the angle control system ($n=\gamma, \theta, q, \text{ and } i$)
 k_r weighting gain corresponding to the maximum acceleration.
 L roll component of the aerodynamic moment vector (N·m)
 L_T thrust misalignment moment component in the roll direction.
 M pitch component of the aerodynamic moment vector (N·m)
 m mass of the missile (kg)
 M_∞ Mach number
 M_T thrust misalignment moment component in the pitch direction
 N yaw component of the aerodynamic moment vector (Nm)
 N_p effective navigation ratio in the pitch plane
 N_T thrust misalignment moment component in the yaw direction (Nm)
 N_y effective navigation ratio in the yaw plane
 p roll velocity component of the missile (rad/s)
 p_0 initial value of the roll angular velocity component of the missile (rad/s)
 q pitch angular velocity component of the missile (rad/s)
 q_0 initial value of the pitch angular velocity component of the missile (rad/s)
 q_∞ dynamic pressure acting on the missile (Pa)
 r yaw angular velocity component of the missile (rad/s)
 r_0 initial value of the yaw angular velocity component of the missile (rad/s)
 $\underline{r}_{T/M}$ line-of-sight vector (m)
 r_{TM} absolute value of the line-of-sight vector (m)
 s variable of the Laplace transformation
 S_M cross-sectional area of the missile (m²)
e-ISSN: 2148-2683

- t time variable (s)
- t_1 initial time instant of each discrete integration segment (s)
- t_2 final time instant of each discrete integration segment (s)
- t_0 initial time instant (s)
- t_F final time instant (s)
- u component of the missile velocity vector in longitudinal direction in the body-fixed reference frame (m/s)
- $u_i^{(j)}$ unit vector of F_j in its i^{th} direction ($i=1, 2$ and 3)
- v component of the missile velocity vector in lateral direction in the body-fixed reference frame (m/s)
- v_M absolute value of the missile velocity vector (m/s)
- v_T absolute value of the target velocity vector (m/s)
- v_{T0} initial target velocity (m/s)
- v_{Tx} component of the target velocity vector in longitudinal direction (m/s)
- v_{Ty} component of the target velocity vector in lateral direction (m/s)
- v_{Tz} component of the target velocity vector in vertical direction (m/s)
- X component of the aerodynamic force vector in longitudinal direction (N)
- x_i additional state variable in the angle control system
- x_M component of the position vector of the missile mass center in longitudinal direction (m)
- x_{M0} component of the initial position vector of the missile mass center in longitudinal direction (m)
- X_T component of the thrust force vector at the mass center of the missile in longitudinal direction (N)
- x_T component of the position vector of the target mass center in longitudinal direction (m)
- x_{T0} component of the initial position vector of the target mass center in longitudinal direction (m)
- w component of the missile velocity vector in vertical direction in the body-fixed reference frame (m/s)
- Y component of the aerodynamic force vector in lateral direction
- y_M component of the position vector of the missile mass center in lateral direction (m)
- y_{M0} component of the initial position vector of the missile mass center in lateral direction (m)
- Y_T component of the thrust force vector at the mass center of the missile in lateral direction (N)
- y_T component of the position vector of the target mass center in lateral direction (m)
- y_{T0} component of the initial position vector of the target mass center in lateral direction (m)
- Z component of the aerodynamic force vector in vertical direction (N)
- z_M component of the position vector of the missile mass center in vertical direction (m)
- z_{M0} component of the initial position vector of the missile mass center in vertical direction (m)
- Z_T component of the thrust force vector at the mass center of the missile in vertical direction (N)
- z_T component of the position vector of the target mass center in vertical direction (m)
- z_{T0} component of the initial position vector of the target mass center in vertical direction (m)
- α angle of attack (rad)
- α_0 initial value of the angle of attack (rad)
- β side-slip angle (rad)
- β_0 initial value of the side-slip angle (rad)
- Δt duration from the initial time to the final time of the missile-target engagement (s)
- Δx longitudinal component of the relative distance between the missile and target (m)
- Δy lateral component of the relative distance between the missile and target (m)
- Δz vertical component of the relative distance between the missile and target (m)
- δ_a aileron deflection of the missile (rad)
- δ_e elevator deflection of the missile (rad)
- δ_i deflection of the i^{th} control fin ($i=1, 2, 3,$ and 4) (rad)
- δ_r rudder deflection of the missile (rad)
- η_{int} flight path angle of the missile in the yaw plane for a successful intercept (rad)
- η_m flight path angle of the missile in the yaw plane (rad)
- η_{m0} initial value of the yaw plane flight path angle of the missile (rad)
- η_m^c guidance command to the flight path angle of the missile in the yaw plane (rad)
- η_t heading angle of the target on the horizontal plane (rad)
- η_{t0} initial value of the heading angle of the target on the horizontal plane (rad)
- γ_{int} flight path angle of the pitch plane missile in the for a successful intercept (rad)
- γ_m flight path angle of the missile in the pitch plane (rad)
- γ_{m0} initial value of the pitch plane flight path angle of the missile (rad)
- γ_m^c guidance command to the flight path angle of the missile in the pitch plane (rad)
- γ_t heading angle of the target on the vertical plane (rad)
- λ_p pitch component of the line-of-sight angle (rad)
- λ_y yaw component of the line-of-sight angle (rad)
- ω_c desired bandwidth value (rad/s)

π “pi” number (=3.14)
 ψ yaw angle of the missile (rad)
 ψ_c guidance command to the yaw angle of the missile (rad)
 ρ air density (kg/m³)
 θ pitch angle of the missile (rad)
 θ_c guidance command to the pitch angle of the missile (rad)

Subscripts

O initial
 a i) axial ii) aileron
 c i) command ii) control
 e elevator
 F final
 M, m missile
 p pitch
 r i) roll ii) rudder
 T i) target ii) thrust
 t i) target ii) transversal
 x longitudinal axis
 y i) yaw ii) lateral axis
 z vertical axis

References

1. Zarchan, P., Tactical and Strategic Missile Guidance, Vol. 157, Progress in Aeronautics and Astronautics, AIAA, Washington DC, 1994.
2. Zarchan, P., “Ballistic Missile Defense Guidance and Control Issues”, Science and Global Security, Vol. 8, 1998, pp. 99-124.
3. Yang, C. D., Hsiao, F. B., and Yeh, F. B., “Generalized Guidance Law for Homing Missiles”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-25, No. 2, March 1989, pp. 197-212.
4. Özkan, B., Özgören, M. K., and Mahmutyazıcıoğlu, G., "Performance Comparison of the Notable Acceleration- and Angle-Based Guidance Laws for a Short-Range Air-to-Surface Missile", Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, Vol. 25, 2017, pp. 3591-3606. doi: 10.3906/elk-1601-230
5. Saleem, A. and Ratnoo, A., “Two Stage Proportional Navigation Guidance Law for Impact Time Control”, 2018 Indian Control Conference (ICC), IIT Kanpur, India, 2018.
6. Tekin, R. and Erer, K. S., “Switched-Gain Guidance for Impact Angle Control under Physical Constraints”, Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 38, No. 2, 2015, pp. 205-216. doi: 10.2514/1.G000766
7. Chen, X. And Wang, J., “Two-Stage Guidance Law with Impact Time and Angle Constraints”, Nonlinear Dynamics, Vol. 95, 2019, pp. 2575-2590. doi: 10.1007/s11071-018-4710-3
8. Lee, H. I., Tahk, M. J., and Sun, B. C., “Practical Dual-Control Guidance Using Adaptive Intermittent Maneuver Strategy”, Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 24, No. 5, 2001, pp. 1009-1015.
9. Wang, Y., Shi, X., and Zhu, Y., “A Novel Switching Guidance Law against Hypersonic Random Maneuvering Target”, 2010 Chinese Control and Decision Conference, China, 2010.
10. Özkan, B., Özgören, M. K., and Mahmutyazıcıoğlu, G., "Modeling of Dynamics, Guidance, and Control Systems of Air-to-Surface Missiles ", The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology, Vol. 9, No. 2, 2012, pp. 101-112. doi: 10.1177/1548512911407647
11. Özkan, B., Özgören, M. K., and Mahmutyazıcıoğlu, G., "Comparison of the Linear Homing, Parabolic Homing and Proportional Navigation Guidance Methods on a Two-Part Homing Missile against a Surface Target", Gazi University Journal of Science, Vol. 23, No. 1, 2010, pp. 81-87.
12. Çilek, B., Missile Guidance with Impact Angle Constraint, Ms.C. Thesis, Aerospace Engineering Department, Middle East Technical University, Turkey, 2014.
13. Zhang, H., Tang, S., Guo, J., and Zhang, W., “A Two-Phased Guidance Law for Impact Angle Control with Seeker’s Field-of-View Limit”, Hindawi International Journal of Aerospace Engineering, Vol. 2018, 2018, pp. 1-13. doi: 10.1155/2018/7403639



Investigation of the Effects of Some Plant Growth Promoting Bacteria on Curly Lettuce (*Lactuca sativa L. var. crispa*) Seedling Development¹

Abdukadir Yusuf Hussein^{2*}, Kenan Sönmez²

^{1*} Mogadishu University, Faculty of Agriculture Mogadishu, Somali, (ORCID: 0000-0001-8565-6196), kadiryusuf908@gmail.com

² Osmangazi University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Eskisehir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4040-4555), ksonmez@ogu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 4 Nisan 2023 ve Kabul Tarihi 17 Mayıs 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10646758)

REFERENCE/ATIF: Hussein, A. Y. & Sönmez, K. (2024). Investigation of the Effects of Some Plant Growth Promoting Bacteria on Curly Lettuce (*Lactuca sativa L. var. crispa*) Seedling Development. *European Journal of Science and Technology*, (53), 126-133.

Abstract

Lettuce is an annual vegetable crop with an edible leaf and widely grown and consumed around the world. It is consumed in all seasons of the year because it can be grown in the open fields and greenhouses. However, to meet the fresh lettuce demand of the increasing world population, it has brought along the use of excessive synthetic fertilizers, which cause environmental pollution and are harmful to human health. Nowadays, by developing environmentally friendly agricultural techniques, alternative applications have gained momentum in order to minimize the use of chemical fertilizers. In our study, 13 strains of PGPR (RC631, RC67 and RC11 strains of *Bacillus subtilis* RC34 and RC33 strains of *B. megaterium* RC356 strain of *B. pumilus*, RC77e, RC86 and RC9 strains of *Pseudomonas fluorescense*, biotype B RC14 strain of *P. putida*, RC36 and RC16 strains of *Pantoea agglomerans* and RC49 strain of *Rodococcus erythropolis*) were used. Bacterial strains in 5 different combination groups (B1, B2, B3, B4, B5) were applied to lettuce seeds and their effects on seedling growth were investigated. The study was carried out in Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture experimental fields and the "Sürpriz" curly leaf salad variety was used as plant material. PGPR applications significantly increased the seedling's leaf fresh weight, root length and fresh weight and root collar diameter compared to control applications and had no effect on leaf number and dry weight and root dry weight. As a result, it was found that the use of a mixture of different PGPR strains as a biofertilizer had significant effects on the development of lettuce seedlings and concluded that the research should be done more comprehensively with different plant species, different application forms and doses.

Keywords: Curly lettuce (*Lactuca sativa L. var. crispa*), PGPR, Plant Growth, Seedling

Bitki Gelişimini Teşvik Eden Bazı Bakterilerin Kıvrıkcık Salata (*Lactuca sativa L. var. crispa*) Fide Gelişimi Üzerine Etkilerinin Araştırılması

Öz

Marul, tek yıllık, yaprakları yenilen, dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilen ve çok tüketilen bir sebze türüdür. Marul örtüaltında ve açık alanda yetiştiriciliği yapılabildiği için yılın her mevsiminde tüketilmektedir. Artan dünya nüfusun taze marul talebini karşılamak için üretimde, çevre kirliliğine neden olan ve insan sağlığına zararlı olan aşırı kimyasal gübre kullanımı giderek artmaktadır. Günümüzde çevre dostu tarım tekniklerinin geliştirilerek kimyasal gübre kullanımını en aza indirmek için alternatif uygulamalar hız kazanmıştır. Çalışmamızda 13 adet PGPR straini (*Bacillus subtilis* RC631, RC67, RC11, *B. megaterium* RC34, RC33, *B. pumilus* RC356,

¹ This study was produced from Abdukadir Yusuf HUSSEIN's master's thesis titled "Investigation of the Effect of Some Plant Growth Promoting Bacteria on Plant Growth in Curly lettuce (*Lactuca sativa L. var. crispa*)".

Root bacteria combination solutions used in practice, were obtained from Çanakkale 18 Mart University at Prof. Dr. Ramazan Çakmakçı's private collection.

² Corresponding Author: kadiryusuf908@gmail.com
<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

Pseudomonas fluorescense RC77e, RC86, RC9, *P. putida* biyotip B RC14, *Pantoea agglomerans* RC 36, RC 16 ve *Rodococcus erythropolis* RC49) kullanılmıştır. Bakteri strainleri 5'erli grup halinde 5 (B1, B2, B3, B4, B5) farklı kombinasyon olarak marul tohumlarına uygulanarak fide gelişimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma ESOGÜ Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümünde yürütülmüş olup bitkisel materyal olarak "Sürpriz" kıvrıkcık yapraklı salata çeşidi kullanılmıştır.

Fidelerin yaprak yaş ağırlığı, kök uzunluğu ve yaş ağırlığı ile kök boğaz çapı üzerine PGPR uygulamalarının kontrol uygulamalarına göre önemli oranda arttırdığı, yaprak sayısı ve kuru ağırlığı ile kök kuru ağırlığı üzerine etkisinin olmadığı istatistiksel olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak farklı PGPR strainleri karışımının biyogübre olarak kullanımının marul fidelerinin gelişmesi üzerine önemli etkileri olduğu belirlenmiş olup, araştırmanın farklı bitki türleri, farklı uygulama şekil ve dozları ile daha kapsamlı olarak yapılması sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kıvrıkcık Salata (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*), PGPR, Bitki Gelişimi, Fide

1. Introduction

After the importance of vegetables in human nutrition was understood, researches on their properties increased even more (Vural et al., 2000). Vegetables are a natural source of fiber, minerals, antioxidants, vitamins, carbohydrates, and proteins (George, 2009).

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) group of vegetables are in the *Asteraceae* (*Compositae*) family and widely grown all over the world, especially in temperate and subtropical climates (Mou, 2008). Lettuce is an annual, highly self-pollinated, and important commercial vegetable crop, mostly used in prepared foods such as salads and sandwiches. In some countries, such as China and Egypt, the stem of lettuce is consumed instead of its leaves (Hasan et al., 2021; Mou, 2008).

The curly lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*) variety are gaining popularity among consumers daily. Curly salad contains more fiber, minerals, and vitamins than head lettuce because it forms a large structure with leaves of various shapes and colors without forming a solid head (Koudela and Petřiková, 2008).

Since lettuce group of vegetables are grown open fields and in greenhouses, it is possible to consume them in all four seasons of the year (De Vries, 1997). Achieving high yield and quality in agricultural production to meet the demand of consumer markets has brought about the excessive use of chemical fertilizers (Ekinci et al., 2015; dos Santos et al., 2020). Excessive use of chemical fertilizers not only causes an environmental pollution, but also damages human health and soil structure, and increases plant production inputs (Altaf et al., 2019). To reduce the harmful effects of chemical fertilizers on the environment and human health, scientists are searching for applications that are cost-effective, ecologically friendly, and simple to use. Due to their current relative affordability, accessibility, and ease of use, plant growth promoting root bacteria (also known as PGPRs) have gained popularity. In addition to their plant growth-promoting effects, PGPRs also have species that are effective in biological war against soil-borne pathogens (Altın and Bora, 2005). It is known that when rhizobacteria are used alone or in a mixture, they have a positive effect on the cultivation of horticulture crops. Plant growth stimulating bacteria (PGPR) are advantageous for plant growth, yield, and quality, according to recent studies (Eşitken et al., 2010).

Plant growth promoting root bacteria are soil bacteria that live in the rhizosphere or root surfaces of plants and play a direct or indirect role in promoting plant growth and development (Ahemad and Kibret, 2014). For plant growth stimulating root bacteria "Plant Growth Promoting Rhizobacteria" - the term PGPR was first used in 1978 (Kloepper and Schroth, 1978). It was discovered that certain bacterial strains, including *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Rhizobium*, and *Serratia*, promote plant development (Saharan and Nehra, 2011).

Plant growth-promoting root bacteria (PGPR) have the impact of allowing the plant to use a compound produced by the bacteria or of making it easier for the plant to absorb specific nutrients from the environment. While PGPR has a direct impact on plant growth through the fixation of atmospheric nitrogen, synthesis of siderophores, production of specific plant hormones, solubilization of phosphorus, and synthesis of plant-useful enzymes, it also has an indirect impact by reducing or preventing the negative effects of one or more plant pathogens. The mechanism of indirect effect of root bacteria on plant growth can be achieved by synthesizing siderophores and antibiotics and inhibiting the proliferation of phytopathogens (Glick, 1995). Biofertilizers are root bacteria that improve nutrient availability and support plant development through nitrogen fixation, phosphorus solubility, or iron uptake. Root bacteria that produce plant hormones like Indole-3-acetic acid (IAA), ethylene, gibberellic acid, and others are referred to as phyto-stimulators, while those that contribute to the degradation of organic pollutants and reduce metal toxicity in polluted soils are referred to as bio-remediators. Root bacteria that suppress phytopathogens through antagonism and competition are known as biocontrol agents (Aloo et al., 2019). The most crucial nutrient for plant development and productivity is nitrogen (N). In crops, free-living N-fixing bacteria are crucial. Non-symbiotic N-fixing bacterial species include Cyanobacteria (*Anabaena*, *nostoc*), *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Gluconoacetobacter diazotrophicus*, and *Azokorus* (Ahemad and Kibret, 2014; Mehmood et al., 2018). Phosphorus (P), which occurs abundantly in soil in both organic and inorganic forms, is the second most significant mineral element that influences plant development after nitrogen (N). Although there is a lot of phosphorus, there is typically little of it that is in forms that plants can use. Because they can supply plants with phosphorus from scarce sources through a variety of processes, phosphorus solubilizing root bacteria (PSB) are regarded as biofertilizers with a promising future. (Ahemad and Kibret, 2014). Inoculation of phosphate solubilizing bacteria not only increases plant growth, but also

significantly increases the overall yield of plants (Mehmood et al., 2018). It has been expressed those genera such as *Azotobacter*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Microbacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* and *Serratia* are the most important phosphate-solubilizing bacteria (Ahemad and Kibret, 2014)., PGPRs are crucial for enhancing plant development parameters by creating phytohormones. Such as ethylene, abscisic acid, auxins, cytokinins and gibberellins. The first group of bacteria capable of producing indole-3-acetic acid (IAA) was named Rhizobia. *Pseudomonas putida* and *P. fluorescens* are the two most important strains of bacteria that show significant results in auxin production and in promoting plant growth. It is known that the bacterial strain of *Pseudomonas fluorescens* secretes phytohormones such as cytokinin, which significantly affect cell division and increase cell growth in the plant (Mehmood et al., 2018). Additionally, it is understood that *Azospirillum* rhizobacteria can produce phytohormones (including gibberellins, cytokinins, and auxins) (Siddiqui, 2006).

Although it has been clearly shown in earlier studies that PGPR improves plant growth and yield by ensuring that plants receive better nutrients, boosting phytohormonal activity, and preventing harmful microflora in plant roots, the goal of our study was to ascertain the effects of specific plant growth-promoting rhizobacteria on the growth of lettuce seedlings and to explore potential applications.

2. Material and Method

2.1. Material

In the study, "Sürpriz" curly leaf salad (*Lactuca sativa* L. *crispa*) (Dikmen Tarım Ürünleri) cultivar was used as plant material. "Sürpriz" curly lettuce is a late stem growing variety suitable for greenhouse cultivation in winter and open field cultivation in summer. This variety has a large number of leaves with the leaf color of medium green (Anonymous, 2022). Combinations of bacterial groups used in the study were given in table 1.

Table 1. PGPR strain combinations used in seed application

| Group No. | PGPR strain combinations |
|-----------|--|
| B1 | <i>Pseudomonas fluorescens</i> RC77e + <i>Bacillus subtilis</i> RC631 + <i>Bacillus megaterium</i> RC33 + <i>Pantoea agglomerans</i> RC36 + <i>Pseudomonas putida</i> biyotip B RC14 |
| B2 | <i>Pseudomonas fluorescens</i> RC86 + <i>Bacillus subtilis</i> RC67 + <i>Bacillus subtilis</i> RC631 + <i>Pseudomonas putida</i> biyotip B RC14+ <i>Bacillus megaterium</i> RC34 |
| B3 | <i>Pseudomonas fluorescens</i> RC77e + <i>Bacillus subtilis</i> RC631 + <i>Bacillus megaterium</i> RC34 + <i>Pantoea agglomerans</i> RC16 + <i>Rhodococcus erythropolis</i> RC49 |
| B4 | <i>Pseudomonas fluorescens</i> RC86 + <i>Bacillus subtilis</i> RC11 + <i>Bacillus pumilus</i> RC356 + <i>Pantoea agglomerans</i> RC36 + <i>Bacillus megaterium</i> RC33 |
| B5 | <i>Pseudomonas fluorescens</i> RC9 + <i>Bacillus subtilis</i> RC631 + <i>Bacillus megaterium</i> RC34 + <i>Bacillus pumilus</i> RC356 + <i>Pantoea agglomerans</i> RC16 |

2.2. Method

Before the seeds were sown in seedling trays, 10 mL of PGPR was applied with a density of 10^9 CFU/ml, and 10 mL of water was applied to the control application. Seed treatments with PGPR were made in petri dishes and shaken in a shaker (Gerhardt RO500) at 100 rpm for two hours (Çakmakçı et al., 2009) and after 2 hours the seeds were sown in seedling trays having 630 holes filled with peat/vermiculite mixture (Figure 1).



Figure 1. Application of bacterial suspensions and sowing seeds. A. Application of PGPR suspensions to lettuce seeds in petri dishes. B. Sowing PGPR-treated seeds into seedling trays.

3. Results and Discussion

The effects of different rhizobacteria seed treatments on leaf and root fresh and dry weight, leaf number, root collar diameter and root length of lettuce seedlings are given in table 2.

Table 2. The effects of PGPR seed treatments on , e seedling seaf fresh weight, number of leaves, dry leaf weight, root fresh weight, root collar diameter, root length and root dry weight.

| Treatments | Leaf fresh weight (g) | Leaf number | Leaf dry weight (g) | Root fresh weight (g) | Root collar diameter (mm) | Root length (cm) | Root dry weight (g) |
|---------------|-----------------------|-------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|
| B1 | 0.594±0.167a | 4.400±0.503 | 0.045±0.016 | 0.386±0.107 a | 2.825±0.365ab | 4.360±0.256bc | 0.046±0.012 |
| B2 | 0.762±0.218ab | 4.550±0.826 | 0.058±0.018 | 0.450±0.136 ab | 2.860±0.372ab | 4.305±0.475bc | 0.056±0.016 |
| B3 | 0.879±0.273b | 4.800±0.696 | 0.061±0.019 | 0.482±0.139bc | 3.219±0.467c | 4.150±0.227a-c | 0.055±0.016 |
| B4 | 0.848±0.343b | 4.500±1.000 | 0.058±0.025 | 0.529±0.205bc | 3.068±0.562bc | 4.105±0.411ab | 0.056±0.023 |
| B5 | 0.740±0.224ab | 4.700±0.923 | 0.078±0.093 | 0.551±0.132 c | 3.039±0.434bc | 4.393±0.272c | 0.061±0.015 |
| Control | 0.706±0.229ab | 4.300±0.979 | 0.053±0.015 | 0.379±0.126 a | 2.686±0.572a | 4.000±0.525a | 0.068±0.092 |
| Anova P value | ** | Ns | Ns | ** | ** | ** | Ns |

**P≤0.01: the difference between the mean levels is significant.

Ns: the difference between means is not significant.

Seedling leaf fresh weight was statistically significant at p≤0.01 confidence interval. The lowest leaf fresh weight was obtained from the B1 application, the highest leaf fresh weight was obtained from the B3 application (Figure 2). Samancıoğlu et al., 2016, reported that different PGPR applications increased leaf fresh weight of cabbage seedlings and Ekinci et al., 2014 and Özaktan et al., 2016 determined that shoot fresh weight increments in cauliflower and tomato seedlings .

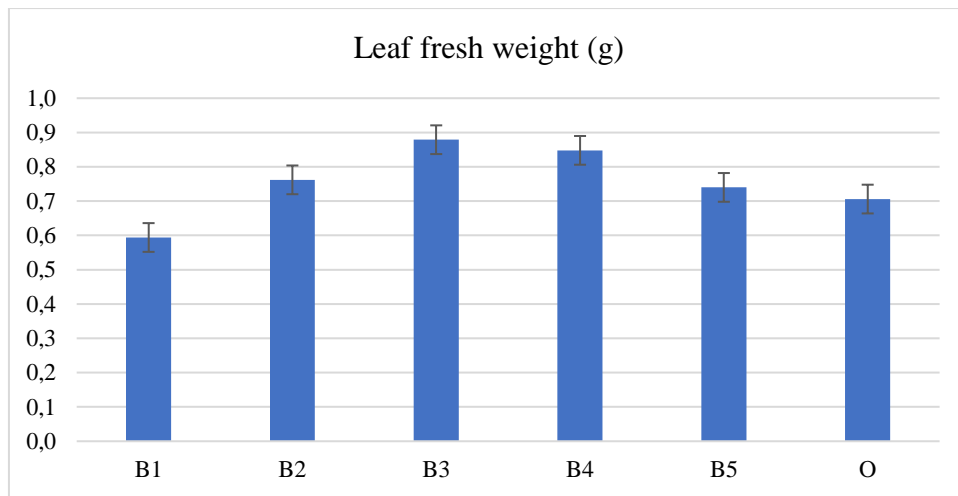


Figure 2. The effects of seed treatments with different PGPR strains on lettuce seedling's leaf fresh weight.

The seed treatments of various PGPR strains had no statistically significant impact on the leaf number in curly-leaved lettuce seedlings (Table 2). All applications were in the same group, but B3 treatment had the highest leaf number with 4.8, and the control group, which did not receive PGPR treatment, had the lowest leaf number with 4.3 (Figure 3). Turan et al., 2014 determined that PGPRs had no effect on the true leaf number of cabbage seedlings.

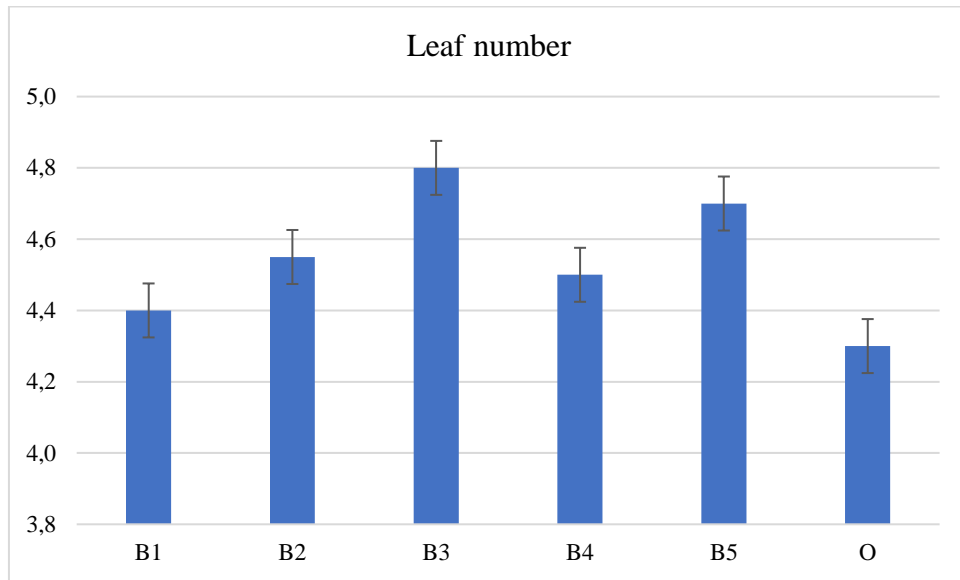


Figure 3. The effect of seed treatments with PGPR on leaf number of lettuce seedlings

It was determined that the effect of seed treatments with PGPR on seedling leaf dry weight was not statistically significant (Table 2). The highest leaf dry weight was obtained from B5 seed treatment, and the lowest value was obtained from the B1 seed treatment (Figure 4). A similar study was done by Ekinici et al. 2014 reported that root bacterial strain did not have a positive effect on the shoot dry weight of cauliflower seedlings.

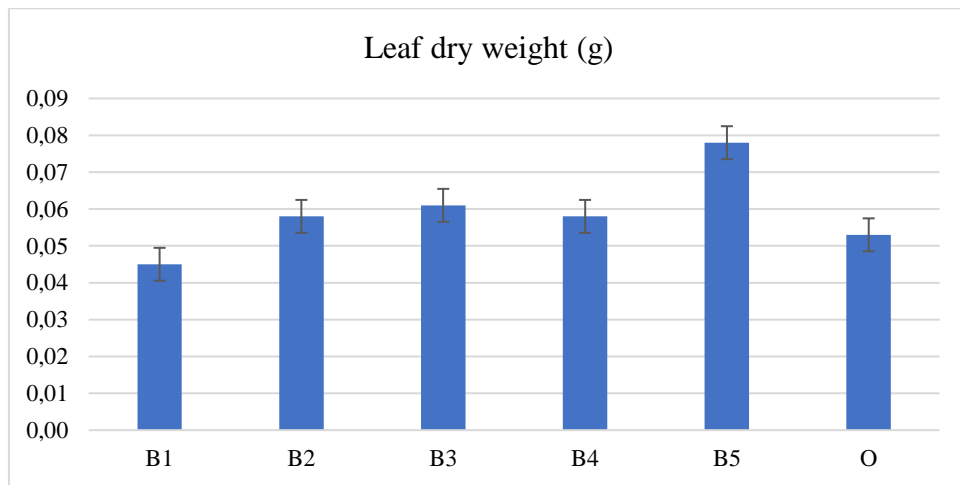


Figure 4. The effects of seed treatments with different PGPR strains on leaf dry weight of lettuce seedlings.

Seed treatments of PGPR were found to have a statistically significant impact on the root fresh weight at the $P \leq 0.01$ level (Table 2). It was found that the B5 seed treatments provided the highest root fresh weight, whereas the control treatment gave the lowest (Figure 5). Özaktan et al. (2016) found that root bacteria had a substantial impact on tomato seedlings' root fresh weight.

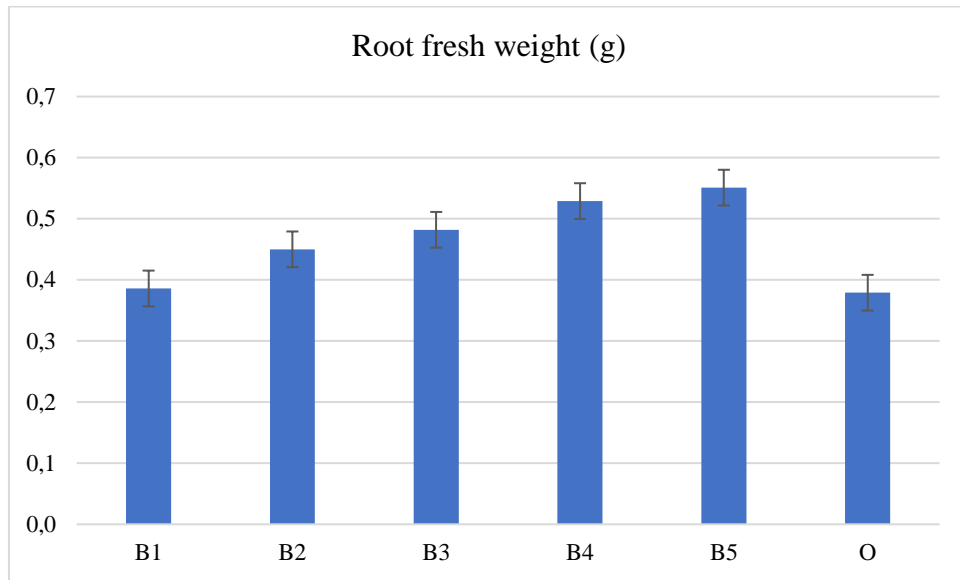


Figure 5. The effects of different seed treatments with PGPR strains on root fresh weight of lettuce seedlings.

It was determined that the effect of the seed treatments with PGPR on the root collar diameter of the seedlings was statistically significant and different in terms of applications (Table 2). The highest root collar diameter was obtained from the B3 seed treatment and the lowest from the control treatment. It was found that there was no difference between B1 and B2, and B4 and B5 treatments were also in the same group (Figure 6). Ekinci et al. (2014) reported that bacterial application increased the root collar diameter of cauliflower seedlings.

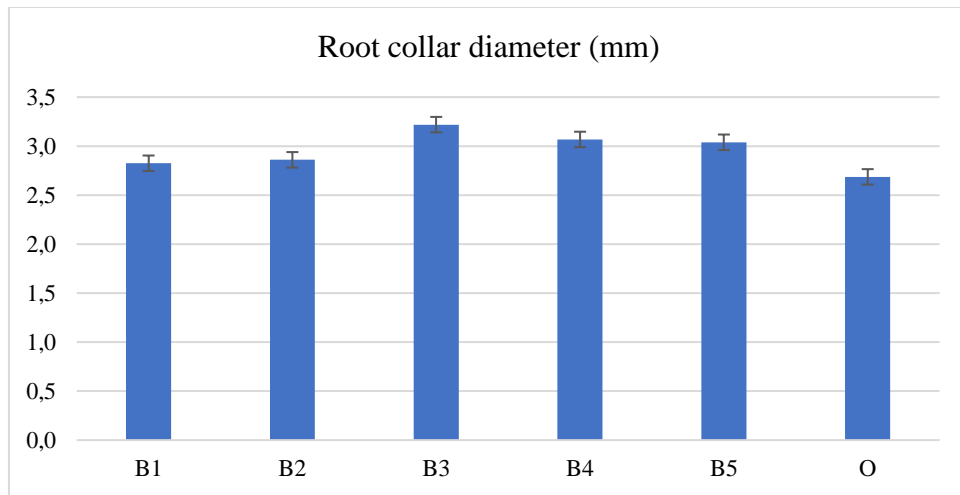


Figure 6. The effects of seed treatments with PGPR strains on root collar diameter of lettuce seedlings.

At a rate of $P \leq 0.01$, The effect of seed treatments with different PGPR strains on seedling root length was determined statistically significant. (Table 2). The B5 seed treatment gave the highest root length, and the lowest root length was determined in control treatment. (Figure 7). In contrast to our findings Ekinci et al. 2015 reported that the impact of PGPR application on the root length of broccoli seedlings was not statistically significant. Similar results with our findings reported by Roychowdhury et al. 2016, PGPR strains significantly affected the root length of spinach seedlings compared to the control.

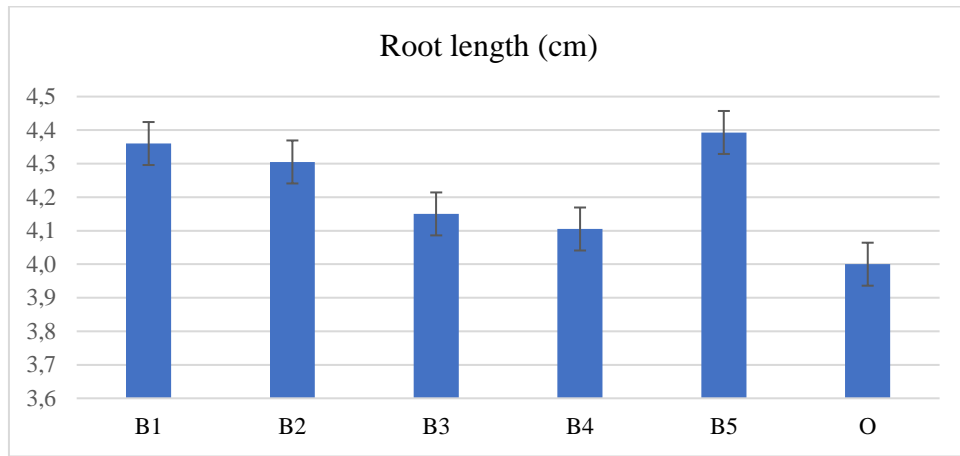


Figure 7. The effects of seed treatments with PGPR strains on seedling root length of lettuce seedlings.

When the seedling root dry weight results were evaluated, there were no statistically significant differences between seed treatments (Table 2). However, it was determined that the seedling root dry weight of the control was the highest compared to the PGPR treatments (Figure 8). Ekinici et al., 2015 stated that the effect of bacteria on seedling root dry weight was statistically insignificant in their study on broccoli.

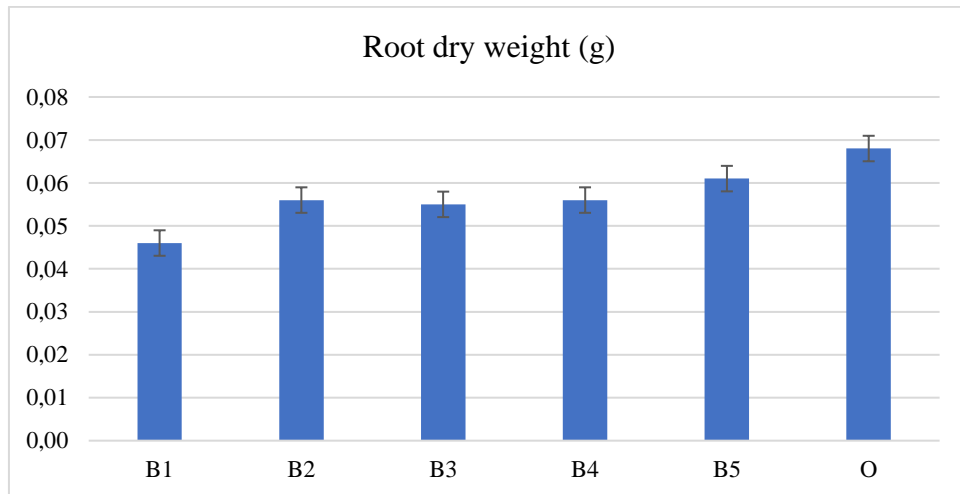


Figure 8. The effect of seed treatment with PGPR strains on seedling root dry weight of lettuce seedlings.

4. Conclusions and Recommendations

When the effects of seed treatments with different PGPR strains on the growth parameters of lettuce seedlings were evaluated, it was found that PGPR strains increased the growth of curly leaf lettuce seedlings compared to control applications. As a result, it was found that the effect of seed treatments of PGPR strains on leaf and root fresh weight, root collar diameter and length of seedlings was positive. According to the results we obtained, when the efficiency of PGPRs were examined, it was determined that the bacterial suspension no. B2 was more effective, followed by the PGPR suspensions no. B3, B4, B5, and lower values were obtained from the bacterial suspension no. B1 compared to the control application.

Lettuce is a group of vegetables are grown at increasing rates in the world and in Turkey. For more yield in lettuce, chemical fertilizers with high nitrogen content are used. The use of environmentally friendly PGPRs instead of chemical fertilizers can help ensure sustainable soil flora while ensuring plant growth. However, factors such as bacterial strain, soil type, PGPR application timing and shape, and plant species are thought to be important in determining the degree of effect of PGPR on plant growth and yield increase. As a result of our study, it was concluded that the use of root bacterial strains as biofertilizers can help improve the growth and quality of lettuce seedlings.

References

- Ahemad, M., Kibret, M., 2014, Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective, Journal of King saud University-science, 26(1), 1-20.
- Altaf, M. A., Shahid, R., Qadir, A., Naz, S., Ren, M. X., Ejaz, S., Shakoor, A. 2019, Potential role of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) to reduce chemical fertilizer in horticultural crops, Int. J. Res. Agric. For, 6, 21-30.
- Altın, N., Bora, T., 2005., Bitki gelişimini uyaran kök bakterilerinin genel özellikleri ve etkileri, Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 15(2), 87-103
- Anonymous, 2022, Origin-and-distribution-of-lettuce-around-the-world-Text-by-Wolfgang-Schuchert-Adapted_fig3_353400822, <https://www.researchgate.net/figure/>, Erişim tarihi: 22.09.2022.
- Çakmakci, R., Erat, M., Oral, B., Erdogan, Ü., Şahin, F., 2009, Enzyme activities and growth promotion of spinach by indole-3-acetic acid-producing rhizobacteria, The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 84(4), 375-380.
- De Vries, I. M., 1997, Origin and domestication of *Lactuca sativa* L. genetic resources and crop evolution, 44(2), 165-174.
- dos Santos, R. M., Diaz, P. A. E., Lobo, L. L. B., Rigobelo, E. C., 2020, Use of plant growth-promoting rhizobacteria in maize and sugarcane: characteristics and applications, Frontiers in Sustainable Food Systems, 136.
- Ekinci, M., Turan, M., Yildirim, E., Güneş, A., Kotan, R., Dursun, A., 2014, Effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth, nutrient, organic acid, amino acid and hormone content of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) transplants, Acta Sci Pol Hortorum Cultus, 13(6), 71-85.
- Ekinci, M., Yıldırım, E., Kotan, R., 2015, Bazı bitki gelişimini teşvik eden rizobakterilerin brokkoli (*Brassica oleraceae* L. var. *italica*) fide gelişimi ve fide kalitesi üzerine etkileri, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 28(2).
- Eşitken, A., Yıldız, H. E., Ercisli, S., Donmez, M. F., Turan, M., Gunes, A., 2010, Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry, Scientia horticulturae, 124(1), 62-66.
- George, R. A., 2009, Vegetable seed production, CABI.
- Glick, B. R., 1995, The enhancement of plant growth by free-living bacteria, Canadian journal of microbiology, 41(2), 109-117.
- Hassan, M. N., Mekkawy, S. A., Mahdy, M., Salem, K. F., Tawfik, E., 2021, Recent molecular and breeding strategies in lettuce (*Lactuca spp.*), Genetic Resources and Crop Evolution, 68(8), 3055-3079.
- Kloepper, J. W., Schroth, M. N., 1978, Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In Proc. Of the 4th Internet. Conf. on Plant Pathogenic Bacter, Station de Pathologie Vegetale et Phytobacteriologie, INRA, Angers, France, 1978, (Vol. 2, pp. 879-882).
- Koudela, M., Petříková, K., 2008, Nutrients content and yield in selected cultivars of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*), Horticultural Science, 35(3), 99-106.
- Mehmood, U., Inam-ul-Haq, M., Saeed, M., Altaf, A., Azam, F., Hayat, S., 2018, A brief review on plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a key role in plant growth promotion, Plant protection, 2(2), 77-82.
- Mou, B., 2008, Lettuce. In Vegetables I., (pp. 75-116). Springer, New York, NY.
- Özaktan, H., Malkoçlu, M. C., Tüzel, Y., Öztekin, G. B., Yolageldi, L., 2016 April, Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on organic tomato seedling production, In III International Symposium on Organic Greenhouse Horticulture, 1164, (pp. 63-68).
- RoyChowdhury, A., Bagchi, A., & Sengupta, C., 2016, Isolation and characterization of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) from agricultural field and their potential role on germination and growth of spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants, Int. J. Curr. Agric. Sci, 6, 128-131.
- Saharan, B. S., Nehra, V., 2011, Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review, Life Sci Med Res, 21(1), 30.
- Samancıoğlu, A., Yildirim, E., Turan, M., Kotan, R., Sahin, U., Kul, R., 2016, Amelioration of drought stress adverse effect and mediating biochemical content of cabbage seedlings by plant growth promoting rhizobacteria, International Journal of Agriculture & Biology, 18(5).
- Siddiqui, Z. A. (Ed.), 2006, PGPR: biocontrol and biofertilization (No. 631.8 PGP), Dordrecht, The Netherlands, Springer.
- Turan, M., Ekinci, M., Yildirim, E., Güneş, A., Karagöz, K., Kotan, R., Dursun, A., 2014, Plant growth-promoting rhizobacteria improved growth, nutrient, and hormone content of cabbage (*Brassica oleracea*) seedlings, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 38(3), 327-333.
- Vural, H., Eşiyok, D., Duman, İ., 2000, Kültür sebzeleri (sebze yetiştirme) kitabı, Bornova, İzmir, S. 1,379 & 385.



Ayrık Dalgacık Dönüşümü ve Welch Yöntemini Kullanarak EEG Sinyallerinden Zihinsel İş Yükünün Derin Öğrenme ile Tespiti

Hüseyin Can Ay^{1*}, Osman Çetin², Şükrü Kitiş³

^{1*}Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fak., Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0333-4992), huseyin.ay1@ogr.dpu.edu.tr

²Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fak., Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8988-5025), osman.cetin@dpu.edu.tr

³Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fak., Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3302-3359), sukr.kitis@dpu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 21 Şubat 2023 ve Kabul Tarihi 22 Mayıs 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10646796)

ATIF/REFERENCE: Ay, H. C., Çetin, O. & Kitiş, Ş. (2024). Ayrık Dalgacık Dönüşümü ve Welch Yöntemini Kullanarak EEG Sinyallerinden Zihinsel İş Yükünün Derin Öğrenme ile Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (53), 134-139.

Öz

Zihinsel iş yükünü ölçmek için taşınabilirliği, kullanım pratikliği ve sinyal alımının kolaylığı gibi sebeplerle çoğunlukla Elektroensefalogram (EEG) sinyalleri kullanılmaktadır. EEG sinyallerinden özellik çıkartmak ve sınıflandırmak önemli bir konudur. Bu çalışmada, EEG sinyallerinin güç spektral yoğunluğu değerleriyle oluşturulan özniteliklerin, derin öğrenme ve makine öğrenmesi yöntemleriyle sınıflandırılması yapılmıştır. Derin öğrenme algoritmasıyla elde edilen sonuçların, klasik makine öğrenmesi algoritmalarına göre üstün olduğu gösterilmiştir. Öncelikle, katılımcılara matematiksel olarak iki farklı sayının birbirinden çıkartılması gibi aritmetik görevler verilmiştir. Katılımcıların dinlenme durumlarındaki ve aritmetik görev verildiği esnasındaki EEG sinyalleri kaydedilmiştir. EEG sinyallerine ayrık dalgacık dönüşümü (DWT) uygulanarak alt bandlar elde edilmiştir. Bandlara ait güç değerleri Welch yöntemiyle hesaplanmıştır. Her bir banddan gelen güç değerleri birleştirilerek öznitelik vektörleri oluşturulmuştur. Bu öznitelik vektörlerinin, uzun kısa dönem hafıza (LSTM) derin öğrenme algoritması ile destek vektör makinesi (SVM), doğrusal diskriminant analizi (LDA), k en Yakın Komşuluk (k-NN) gibi farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Sınıflandırma sonucunda, her bir kanal için hesaplanan doğruluk, duyarlılık, özgüllük, F1 skoru ve kesinlik gibi performans metriklerinin ortalaması alınmıştır ve tablo halinde sınıflandırma algoritmalarının üstünlükleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ayrık Dalgacık Dönüşümü, Zihinsel İş Yükü, Derin Öğrenme, Welch Yöntemi

Detection of Mental Workload with Deep Learning from EEG Signals Using Discrete Wavelet Transform and Welch Method

Abstract

Electroencephalogram (EEG) signals are mostly used to measure mental workload for reasons such as portability, practicality of use and ease of signal reception. Extraction and classification of features from EEG signals is an important issue. In this study, the features created by the power spectral density values of the EEG signals are classified by deep learning and machine learning methods. It has been shown that the results obtained with the deep learning algorithm are superior to the classical machine learning algorithms. Firstly, the participants were given arithmetic tasks such as subtracting two different numbers from each other mathematically. The EEG signals of the participants at rest and during the arithmetic task were recorded. Subbands were obtained by applying discrete wavelet transform (DWT) to EEG signals. The power values of the bands were calculated with the Welch method. Feature vectors were created by combining the power values from each band. These feature vectors were classified using different machine learning algorithms such as long short-term memory (LSTM) deep learning algorithm and support vector machine (SVM), linear discriminant analysis (LDA), k-Nearest Neighborhood (k-NN). As a result of the classification, the performance metrics such as accuracy, sensitivity, specificity, F1 score and precision calculated for each channel were averaged and the superiority of the classification algorithms were compared in table.

Keywords: Discrete Wavelet Transform, Mental Workload, Deep Learning, Welch Method.

* Sorumlu Yazar: Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fak., Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0333-4992) huseyin.ay1@ogr.dpu.edu.tr

1. Giriş

Zihinsel iş yükü, psikolojik, bilişsel veya motor bir eylemi gerçekleştirebilmek için gereken bilişsel kapasite miktarı olarak tanımlanmaktadır. Genellikle bir görevin gerçekleştirildiği şartlar ve kişilerin becerileri, davranışları ve algıları arasındaki etkileşimden meydana gelir. Zihinsel iş yükü genellikle, askeri pilotların, gemi mürettebatındaki kişilerin, hava trafik yönetim merkezlerinde çalışanların, cerrahi operasyon yapan doktoların ve otomobil kullanıcılarının vb. mesleklerdeki kişilerin zihinsel iş yüklerinin değerlendirilmesinde kullanılır. Son yıllarda, teknolojinin gelişmesiyle birlikte araştırmacılar tarafından beyin- bilgisayar arayüzü (BCI) sistemlerinde de kullanıcı performanslarını değerlendirmek için kullanılmaktadır [1-2].

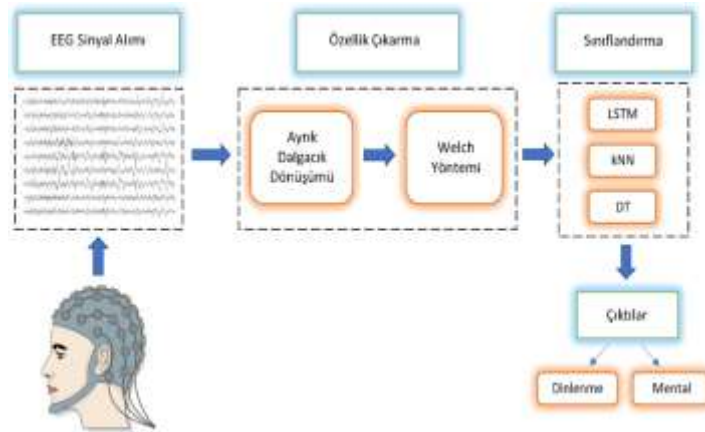
Zihinsel iş yükünün değerlendirilmesinde çoğunlukla kişilerin fizyolojik ölçümlerine dayanan yöntemler kullanılır. Bu yöntemler, kişilere verilen zorlu ve kolay görevler esnasında kaydedilen fizyolojik verilerin değerlendirilmesi prensibine dayanmaktadır. Zihinsel iş yükünün değerlendirilmesinde kullanılan fizyolojik ölçüm teknikleri; kalp aktivitesi, solunum hızı, göz hareketleri ve göz kırpmaya hızı, termal aktivite, kas aktiviteleri ve beyin aktivitesi olarak sıralanabilir [3]. Çeşitli bilişsel aktiviteler sonucunda beyinde oluşan biyoelektriksel değişimleri yakalayabilme kabiliyeti sayesinde EEG tekniği, zihinsel iş yükü değerlendirmelerinde sıklıkla kullanılan bir tekniktir [4].

EEG tekniğinde, kişilerin kafa derisi üzerine belirli aralıklarla konumlandırılan elektrotlardan düşük genlikli biyoelektriksel sinyaller elde edilir. Amplifikatörler aracılığıyla elektrotlardan gelen bu düşük genlikli sinyaller yükseltilerek bilgisayar ortamında kaydedilir [5]. Yükseltilmiş sinyallerden öznelik elde etmek için çeşitli istatistiksel, spektral veya zaman-frekans analizi yöntemleri kullanılır. Elde edilen bu öznelikler herhangi bir yapay ağı algoritmasının girişine uygulanarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir.

Bu çalışmada, öznelik çıkarma işleminde DWT ile birlikte Welch yöntemleri kullanılmıştır. EEG sinyallerinin frekansa bağlı güç spektral yoğunluğu değerleri hesaplanarak öznelik vektörleri oluşturulmuştur. Bu öznelikler, LSTM derin ağı ve SVM, LDA, k-NN ve RF gibi makine öğrenmesi algoritmalarının eğitimi için kullanılmıştır. Eğitim sonucunda LSTM derin ağının diğer makine öğrenmesi algoritmalarına karşı üstünlüğü görülmüştür.

2. Materyal ve Metot

Şekil 1’de, önerilen yöntemin blok diyagramı gösterilmiştir. Ham EEG sinyallerinden özellik çıkarmak için DWT ile birlikte Welch yöntemi kullanılmıştır. 21 kanallı ve 500 Hz örnekleme frekansı ile alınan EEG verilerine DWT uygulanarak, 4 farklı frekans bandı (delta, teta, alfa ve beta) elde edilmiştir. Ardından bu bandların Welch yöntemiyle güç değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen güç değerleriyle öznelik vektörleri oluşturulmuştur. DWT ile Welch yöntemlerini kullanarak elde edilen öznelik vektörleri, LSTM derin ağı ile birlikte k-NN ve karar ağacı gibi makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucunda dinlenme ve zihinsel iş yükü sınıflarına karşılık gelen çıktılar elde edilmiştir.



Şekil 1. Önerilen yöntemin blok diyagramı

2.1. EEG Veri Kaydı

Bu çalışmada, Zyma ve arkadaşları tarafından kaydedilen mental aritmetik görevlerin yerine getirilmesinden önce ve bu görevleri yerine getirmesi sırasında kaydedilen EEG veri seti kullanılmıştır. Veri seti, EEG görsel muayenesinde uzman bir nörofizyolog tarafından 36 katılımcıdan (27 kadın, 9 erkek) kaydedilen verileri içermektedir. Kullanılan EEG veri seti, Kiev Taras Shevchenko Ulusal Üniversitesi “Biyoloji ve Tıp Enstitüsü” Eğitim ve Bilim Merkezi Biyoetik Komisyonu tarafından onaylanmış ve Dünya Tabipler Birliği (WMA) Helsinki Bildirgesi uyarınca her denekten yazılı bilgilendirilmiş onam alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan EEG verilerinde Neurocom monopolar EEG 23-kanal sistemi kullanılmıştır. Elektrotlar simetrik şekilde kafa derisine Uluslararası 10-20 sistemine göre yerleştirilmiştir [6].

2.2. Ayırık Dalgacık Dönüşümü (DWT)

Ölçek ve öteleme parametreleri olan a ve b değişkenleri sürekli dalgacık dönüşümünde devamlı değişmektedir. Değişken olan a ve b parametrelerinin olası her bir değeri için dalgacık katsayılarının hesaplanması çok fazla işlem gerektiren bir süreçtir. Bu soruna etkili bir çözüm olarak sürekli dalgacık dönüşümündeki a ve b değişkenleri 2^r nin kuvveti olarak seçilir. Bu şekilde yapılan dönüşüm, ayırık dalgacık dönüşümü (DWT) olarak isimlendirilir. Giriş sinyalindeki veri sayısının çok fazla olduğu durumlarda DWT kullanmak oldukça hızlı ve verimlidir. Herhangi bir ölçek ve öteleme değeri olan dalgacık fonksiyonu ifadesi Eşitlik 1' deki gibi gösterilir [7].

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

Ölçek parametresi $a = 2^r$ ve öteleme parametresi $b = k2^r$ olmak üzere, bu parametreler Eşitlik 1' de yerine yazılırsa Eşitlik 2' de verilen dalgacık fonksiyonu elde edilir [7].

$$\Psi_{r,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{|2^r|}} \Psi\left(\frac{t-k2^r}{2^r}\right) \quad (2)$$

Eşitlik 2' deki fonksiyon, sürekli dalgacık dönüşümü formülünde yerine yazılırsa, elde edilen ayırık dalgacık dönüşümü ifadesi Eşitlik 3' deki gibi gösterilir [8].

$$DWT_{r,k} = \frac{1}{\sqrt{|2^r|}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \Psi\left(\frac{t-k2^r}{2^r}\right) dt \quad (3)$$

2.3. Welch Yöntemi

Spektral analiz yöntemlerinden biri olan Welch yönteminde, ilk olarak giriş sinyali istenen uzunluktaki segmentlere ayrılır. Bu segmentlere ait sinyaller, herhangi bir pencere fonksiyonuyla çarpılır ve hızlı Fourier dönüşümü uygulanarak yumuşatılmış periodogramlar elde edilir. Yumuşatılmış i. periodogram ifadesi Eşitlik 4' de ifade edilmiştir [9].

$$\hat{P}_i(f) = \frac{1}{M} \frac{1}{H} \left[\sum_{n=0}^{M-1} w[n] x_i[n] e^{-j2\pi f n} \right]^2 \quad (4)$$

Eşitlik 4' deki $w[n]$ parametresi pencere fonksiyonuna karşılık gelir. Çoğunlukla "hamming" adı verilen pencere seçilir. M değişkeni, segmentlerin uzunluğudur. H ise normalize edilen pencere fonksiyonudur. Normalize edilen pencere fonksiyonu ifadesi Eşitlik 5' te verilmiştir [9].

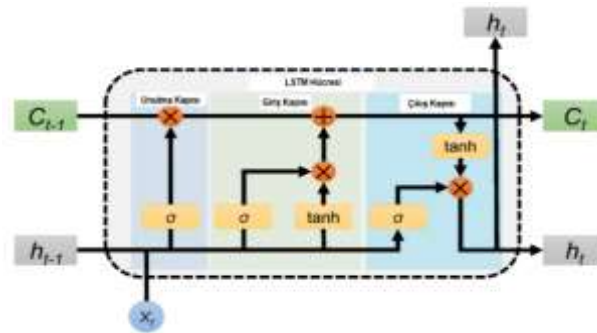
$$H = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} w[n]^2 \quad (5)$$

Yumuşatılmış periodogramların ortalaması alınarak Welch'in güç spektral tahmini elde edilir. Welch'in spektral tahmini Eşitlik 6' da gibi ifade edilir [9].

$$\hat{P}_{welch}(f) = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S \hat{P}_i(f) \quad (6)$$

2.4. Uzun Kısa Dönem Hafıza (LSTM)

Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM), 1997'de Hochreiter ve Schmidhuber tarafından bulunan, tekrarlayan sinir ağının (RNN) özel bir türü olarak bilinmektedir. RNN modelinin eğitim aşamasında ortaya çıkan gradyan kaybolması gibi sıkıntılar LSTM'de tamamiyle giderilmiştir. LSTM ağları, gizli katmanında hücre olarak adlandırılan bir yapıya sahiptir. Bir LSTM hücresi, bilgi iletimini kontrol eden unutmaya kapısı, giriş kapısı ve çıkış kapısı olmak üzere üç kapıdan oluşmaktadır [10]. Şekil 2' de LSTM hücresi gösterilmiştir.



Şekil 2. LSTM hücresinin yapısı [11]

Unutmaya kapısındaki sigmoid fonksiyonunun çıktısı 0 ise mevcut bilgi silinir, sigmoid fonksiyonunun çıktısı 1 ise bilgiler üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmaz ve bilgilerin iletilmesi gerçekleştirilir. Giriş kapısı iki kısımdan oluşmaktadır. Sigmoid aktivasyon

fonksiyonu bulunan katmanda hangi değerlerin kullanılması gerektiğine karar verilir. Tanh aktivasyon fonksiyonu kullanan katmanda ise hücre durumu üzerine eklenecek olan değerlerden bir vektör oluşturulur. Sigmoid katman ve tanh katmanından gelen bu iki vektör çarpılarak hücre durumu üzerine eklenir. Çıkış kapısında, güncellenen hücre durumu bilgileri tanh aktivasyon fonksiyonu bulunan katmanından geçirilir. Önceki hücrenin çıktısı ile giriş bilgileri sigmoid aktivasyon fonksiyonu olan katmandan geçirilir. Son adımda, bu iki katmandan gelen bilgiler çarpılır ve hücrenin çıktısı hesaplanır [11-12].

2.5. k en yakın komşuluk (k-NN)

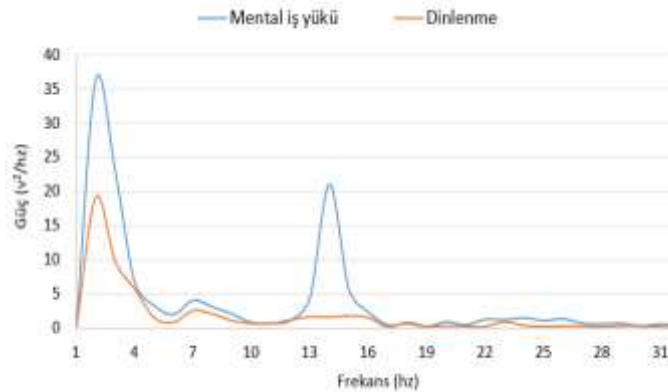
k en yakın komşuluk (k-NN), herhangi bir veri setinin önceden belirlenmiş bir komşu sayısı parametresi kullanılarak sınıflandırma yapan gözetimli bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Sınıflandırılacak olan verilerin örneklem uzayındaki veri kümelerine olan uzaklığı belirlenir. Bu uzaklığın en yakın olduğu sınıfa ilgili verinin ataması yapılır. Buradaki esas nokta sınıflandırma yapılmadan önce, sınıflara ait özniteliklerin net bir şekilde tanımlanmış olması gerekmektedir. [13-14].

2.6. Destek Vektör Makinesi (SVM)

Destek vektör makineleri regresyon analizleri ve sınıflandırma problemleri için kullanılan gözetimli öğrenme modelleridir. DVM kullanılarak yapılan ikili sınıflandırmalarda genellikle sınıf etiketleri -1 ve +1 olarak atanır. Eğitim setindeki veriler ile elde edilen karar fonksiyonu aracılığıyla farklı sınıflara ait örneklerin birbirinden ayrılması gerçekleştirilir. İki sınıfa ait verileri birbirinden ayırabilen çok sayıda hiper düzlem çizilebilir. Fakat buradaki temel amaç, eğitim verilerini en doğru şekilde birbirinden ayırabilecek hiperdüzlemin bulunmasıdır. Başka bir deyişle farklı sınıflara ait verilerin birbirlerine olan en yakın noktaları arasındaki uzaklığı maksimuma çıkarmaktır [15].

2.7. Doğrusal Diskriminant Analizi (LDA)

Doğrusal diskriminant analizi (LDA), 1936 yılında R. A. Fisher tarafından ikili sınıflandırma problemlerinin çözümü için geliştirilmiş bir sınıflandırma algoritmasıdır. Farklı sınıflara ait öznitelikleri doğrusal bir şekilde birbirinden ayırır. LDA algoritmasındaki temel amaç, sınıflar arasındaki varyans değerlerini en üst düzeye çıkarmaktır. Böylece veri setindeki sınıflar arasında bir karar doğrusu çizilerek, verilerin dağılımı daha anlaşılabilir bir hale gelmektedir [16].



Şekil 3. Güç spektral yoğunluğu grafikleri

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

500 hz örnekleme frekansıyla alınan ham EEG sinyallerine 6. seviye ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmıştır. Dalgacık fonksiyonu olarak 'db8' dalgacığı seçilmiştir. Bu işlem sonucunda ham EEG sinyallerinin delta (0-4 hz), teta (4-8 hz), alfa (8-16 hz) ve beta (16-36 hz) bandları elde edilmiştir. Bandların güç spektral yoğunluğu değerleri Welch yöntemiyle elde edilmiştir. 0-36 hz frekans aralığına karşılık gelen güç değerleri birleştirilerek öznitelik vektörleri oluşturulmuştur. Şekil 3'te dinlenme ve mental iş yükü durumlarına ait 0-36 hz frekans aralığındaki güç spektral yoğunluğu grafikleri gösterilmiştir.

Şekil 3'te bir kanala ait verilen güç spektral yoğunluğu grafiklerine göre mental iş yükü esnasında özellikle alfa bandında belirgin bir artış görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan veri setinde 36 kişinin her birine ait 21 kanal olduğundan zihinsel iş yükü ve dinlenme durumları için 756'şar adet öznitelik vektörü bulunmaktadır. Fakat derin öğrenme algoritmalarının eğitimleri aşamasında çok fazla sayıda veri gerektiğinden oluşturulan öznitelik vektörlerinin sayısı 0.90, 0.95 ve 1.1 değerleriyle çarpılarak 3 kat artırılmıştır. Arttırılmış veri seti 3024 mental iş yükü ve 3024 dinlenme durumlarına ait toplamda 6048 adet öznitelik vektöründen oluşmaktadır. Bu veri seti sıfırlandırıcılara uygulanmadan önce k çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak eğitim ve test olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Kullanılan k parametresi olarak 10 değeri seçilmiştir. LSTM derin ağında kullanılan eğitim parametreleri ise Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. LSTM ağında kullanılan parametreler

| LSTM Parametreleri | Değer |
|--------------------------|-------|
| Epoch sayısı | 100 |
| Mini batch size | 128 |
| Öğrenme oranı | 0.005 |
| Optimizasyon algoritması | Adam |

LSTM ağının eğitimi için epoch sayısı 100 olarak girilmiştir ve her bir epochta 50 iterasyon yapılmıştır. Toplamda ise 5000 iterasyon yapılmıştır. Mini batch size parametresi 128 olarak seçildiği için her bir epochta eğitim veri setinden alınan 128 adet öznitelik vektörü ile eğitim yapılmıştır. Öğrenme oranı parametresi için 0.005 değeri girilmiştir. Optimizasyon algoritması olarak “adam” seçilmiştir.

Tablo 2. Tüm kanallara ait performans metriklerinin ortalaması

| Sınıflandırıcı | Acc | F1 | Sensitivity | Specificity | Precision |
|----------------|--------|--------|-------------|-------------|-----------|
| LSTM | 0.9540 | 0.9541 | 0.9634 | 0.9470 | 0.9455 |
| SVM | 0.7025 | 0.7104 | 0.7295 | 0.6756 | 0.6922 |
| LDA | 0.6982 | 0.7005 | 0.7057 | 0.6908 | 0.6953 |
| k-NN | 0.7693 | 0.7773 | 0.8049 | 0.7338 | 0.7515 |

Tablo 2’ de tüm kanallara ait doğruluk, F1 skoru, duyarlılık, özgüllük ve kesinlik gibi performans metriklerinin ortalamaları alındığında elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. En yüksek sınıflandırma başarısı LSTM ağı kullanılarak %95.40 olarak elde edilmiştir. En düşük sınıflandırma başarısı %69.82 ile LDA algoritması olmuştur. En yüksek F1 skoruna 0.9541 ile LSTM ağında, en düşük F1 skoruna ise 0.7005 ile LDA algoritmasında ulaşılmıştır. Duyarlılık parametresi en yüksek LSTM ağında 0.9634 olarak, en düşük ise LDA algoritmasında 0.7057 olarak elde edilmiştir. En yüksek özgüllük değeri 0.9470 ile LSTM ağı kullanılarak, en düşük özgüllük değeri ise 0.6756 ile SVM kullanılarak hesaplanmıştır. En yüksek kesinlik değerine 0.9455 ile LSTM ağında, en düşük kesinlik değerine ise 0.6922 ile SVM algoritmasında ulaşılmıştır. Tablo 2’ de yer alan tüm performans metrikleri göz önünde bulundurulduğunda, LSTM derin ağının diğer makine öğrenmesi algoritmalarına kıyasla daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Tablo 3’te EEG sinyallerinden zihinsel iş yükünün tespitiyle ilgili yapılmış olan bazı çalışmaların sonuçları verilmiştir.

Tablo 3. Literatürde yapılan bazı çalışmaların karşılaştırılması

| Yazar | Yöntem | Doğruluk |
|--------------------|----------------------------------|----------|
| Lim vd. [17] | FFT, SVR | 69.20 |
| Chakladar vd. [18] | FFT, İstatistiksel özellik, LSTM | 86.33 |
| Aghajani vd. [19] | PSD, PLV, PAC, SVM | 93.80 |
| Aydın [3] | HFB, SVM | 95.39 |
| Roy vd. [20] | ERP, CCA, LDA | 98.00 |

Lim vd. [17], çalışmalarında hızlı Fourier dönüşümü (FFT) kullanarak EEG sinyalini ayırtmışlardır ve her band için güç spektral değerlerini öznitelik olarak kullanmışlardır. Elde ettikleri öznitelikleri, destek vektör regresyon (SVR) modelini kullanarak sınıflandırdıklarında %69.20’lik doğruluk değerine ulaşmışlardır. Chakladar vd. [18], EEG sinyallerinin güç spektral yoğunluğu, istatistiksel özellikleri ve yaklaşık entropi tabanlı özellikleri arasından en ayırt edici olanları belirlemişlerdir. LSTM derin ağı ile sınıflandırdıklarında %86.33 başarı elde etmişlerdir. Aghajani vd. [19], EEG ve fonksiyonel yakın kızılötesi spektroskopisi (fNIRS) tekniklerini kullanarak zihinsel iş yükünün tespitini amaçlayan hibrit bir çalışma yürütmüşlerdir. EEG sinyallerinin güç spektral yoğunluğu (PSD), faz kilit değeri (PLV) ve faz-genlik kuplajı (PAC) gibi değerlerini öznitelik olarak kullanmışlardır. Bu öznitelikleri SVM algoritmasıyla sınıflandırmışlardır. Yapılan sınıflandırma sonucunda ortalama %93.80 doğruluk elde etmişlerdir. Aydın [3], zihinsel iş yükü seviyelerinin düşük, orta ve yüksek olmak üzere sınıflandırmasını yapmıştır. Higuchi fraktal boyutu (HFB) algoritmasını kullanarak EEG sinyallerinden öznitelik çıkarma işlemini gerçekleştirmiştir. Bu öznitelikleri, SVM ile sınıflandırarak %95.39 doğruluk elde etmiştir. Roy vd. [20], EEG sinyalleri aracılığıyla zihinsel iş yükü tahmini üzerine bir çalışma yapmışlardır. Toplamda 20 katılımcıya ezberlemesi gereken iki ve altı basamaklı sayılar gösterilerek 2 farklı düzeyde zihinsel iş yükünün sınıflandırma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Öncelikle her bir kişinin EEG kayıtlarından olay ilişkili potansiyelleri (ERP) elde etmişlerdir. Daha sonra kanonik

korelasyon analizi (CCA) ile ERP verilerini filtrelemişlerdir. Filtrelenmiş verilerin düşük ve yüksek iş yükü olmak üzere ikili sınıflandırma işlemi LDA algoritması kullanarak yapmışlardır. Sınıflandırma sonucunda %98.00 başarıya ulaşmışlardır.

4. Sonuç

Bu çalışmada kişilerin mental işi yükü ile dinlenme durumlarının ayırt edilmesinde EEG sinyalleri kullanılmıştır. Önerilen yöntemde ayrıştırılmış EEG sinyallerinin güç spektral yoğunluğu değerleri öznitelik vektörü olarak kullanılmıştır. Kişilere verilen aritmetik ve mental görevler esnasındaki EEG sinyallerinin güç spektral yoğunluklarında değişimler meydana geldiği görülmüştür. Şekil 3'te görüldüğü gibi, zihinsel iş yükü ile dinlenme görevlerinin özellikle delta ve alfa bandlarının güç değerlerinde belirgin farklar gözlemlenmiştir. En başarılı sınıflandırıcı LSTM, en başarısız sınıflandırıcı ise LDA algoritması olmuştur. Sonuç olarak, LSTM derin öğrenme algoritma ile elde edilen bu yüksek başarı, zihinsel iş yükünün EEG sinyalleri kullanılarak tespit edilmesinde gelecek çalışmalar için araştırmacılara umut olabilir.

Kaynakça

1. Charles, R. L., & Nixon, J. (2019). Measuring mental workload using physiological measures: A systematic review. *Applied ergonomics*, 74, 221-232.
2. Di Stasi, L. L., Antolí, A., & Cañas, J. J. (2013). Evaluating mental workload while interacting with computer-generated artificial environments. *Entertainment Computing*, 4(1), 63-69.
3. Aydın, E. A. (2021). EEG sinyalleri kullanılarak zihinsel iş yükü seviyelerinin sınıflandırılması. *Politeknik Dergisi*, 24(2), 681-689.
4. Di Flumeri, G., Borghini, G., Aricò, P., Sciaraffa, N., Lanzi, P., Pozzi, S., ... & Babiloni, F. (2018). EEG-based mental workload neurometric to evaluate the impact of different traffic and road conditions in real driving settings. *Frontiers in human neuroscience*, 12, 509.
5. Siuly, S., Li, Y., Zhang, Y. (2016). Electroencephalogram (EEG) and Its Background. In *EEG Signal Analysis and Classification* (s. 3-21). Springer, Cham.
6. Zyma, I., Tukaev, S., Seleznev, I., Kiyono, K., Popov, A., Chernykh, M., & Shpenkov, O. (2019). Electroencephalograms during mental arithmetic task performance. *Data*, 4(1), 14.
7. Chen, D., Wan, S., Xiang, J., Bao, F. S. (2017). A high-performance seizure detection algorithm based on Discrete Wavelet Transform (DWT) and EEG. *PloS one*, 12 (3), e0173138.
8. Ocak, H. (2009). Automatic detection of epileptic seizures in EEG using discrete wavelet transform and approximate entropy. *Expert Systems with Applications*, 36 (2), 2027-2036.
9. Tosun, M., & Çetin, O. (2021). Ampirik Mod Ayrıştırması ve Welch Yöntemini Kullanarak Dört Sınıflı Motor Hayali EEG Sinyallerinin Derin Öğrenme ile Sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (26), 284-288.
10. Alhagry, S., Fahmy, A. A., & El-Khoribi, R. A. (2017). Emotion recognition based on EEG using LSTM recurrent neural network. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(10).
11. Er, M. B., & İbrahim, I. Ş. I. K. (2021). LSTM tabanlı derin ağlar kullanılarak diyabet hastalığı tahmini. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(1), 68-74.
12. Yin, Y., Zheng, X., Hu, B., Zhang, Y., & Cui, X. (2021). EEG emotion recognition using fusion model of graph convolutional neural networks and LSTM. *Applied Soft Computing*, 100, 106954.
13. Manjusha, M., & Harikumar, R., "Performance analysis of kNN classifier and k-means clustering for robust classification of epilepsy from EEG signals", *International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking, IEEE*, pp. 2412-2416, 2016.
14. Türk, Ö., & Özerdem, M. S., "EEG İşaretlerinin k-NN ile Sınıflandırılmasında Dalgacıklara İlişkin Performansların Karşılaştırılması", *Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi*, 25-27, 2014.
15. Kavzoğlu, T., & Çölkesen, İ. (2010). Destek vektör makineleri ile uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kernel fonksiyonlarının etkilerinin incelenmesi. *Harita Dergisi*, 144(7), 73-82.
16. Çağhyan, B., & Utku, Köse., "Epilepsi EEG Verilerinin Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Sınıflandırılması", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 163-172, 2021.
17. Lim W. L., Sourina O., Wang L. P., "STEW: Simultaneous Task EEG Workload Data Set", *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 26 (11): 2106-2114, (2018).
18. Chakladar D.D., Dey S., Roy P.P., Dogra D.P., "EEGbased mental workload estimation using deep BLSTMLSTMnetwork and evolutionary algorithm", *Biomedical Signal Processing and Control*, 60 101989, (2020).
19. Aghajani, H., Garbey, M., & Omurtag, A. (2017). Measuring mental workload with EEG+ fNIRS. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 359.
20. Roy, R. N., Bonnet, S., Charbonnier, S., Jallon, P., & Campagne, A. (2015, August). A comparison of ERP spatial filtering methods for optimal mental workload estimation. In *2015 37th annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society (EMBC) (pp. 7254-7257)*. IEEE.



Experimental Analysis of Perturb&Observe and Incremental Conductance Algorithms for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems

Mustafa Şeker^{1*}, Talha Tan², Sinem Melike Turan³

^{1*} Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sivas Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3793-8786)

mustafaseker@cumhuriyet.edu.tr

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Lisans Öğrencisi, Sivas Türkiye (ORCID: 0009-0007-9047-7361), trtb58@gmail.com

³ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Lisans Öğrencisi, Sivas Türkiye (ORCID: 0009-0007-9047-7361), sinemmeliket@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 27 Temmuz 2023 ve Kabul Tarihi 27 Aralık 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10646900)

REFERENCE/ATIF: Şeker, M., Tan, T. & Turan, S. M. (2024). Experimental Analysis of Perturb&Observe and Incremental Conductance Algorithms for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems. *European Journal of Science and Technology*, (53), 140-149.

Abstract

Photovoltaic (PV) systems are recognized as one of the most important energy sources in the world due to their natural advantages such as large installable areas, environmental friendliness, and energy efficiency. Photovoltaic cells have nonlinear current-voltage characteristics. Therefore, PV systems should be operated at the maximum power point (MPP) to obtain maximum output power. Many optimization algorithms developed today play an important role in optimizing the performance of photovoltaic (PV) generation systems and operating the system at the maximum power point. In this paper, a comprehensive evaluation of two widely used optimization methods, Perturb&Observe and Incremental Conductance, is presented using both experimental and Matlab/Simulink simulation models. Experimental studies were carried out using Arduino Uno and 1 KHz PWM output was used to trigger the MOSFET in the boost converter circuit. The experimental results show that the InC method can detect the maximum power point with better convergence and higher accuracy than the P&O algorithm under sudden changing irradiance.

Keywords: Maximum Power Point Tracking, Incremental Conductance, Perturb&Observe, Solar Energy

Fotovoltaik Sistemler için Maksimum Güç Noktasının İzlenmesinde Değiştir&Gözlemle ve Artan İletkenlik Algoritmalarının Deneysel Analizi

Öz

Fotovoltaik (PV) sistemler kurulabilir alanlarının fazla olması, çevre dostu ve enerji verimliliği gibi doğal avantajları nedeniyle dünyadaki en önemli enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. Fotovoltaik hücreler lineer olmayan akım-gerilim karakteristik yapısına sahiptir. Bu nedenle PV sistemlerden maksimum çıkış gücü elde edebilmek için maksimum güç noktasında (MPP) çalıştırılmalıdır. Günümüz geliştirilmiş birçok optimizasyon algoritması fotovoltaik (PV) üretim sisteminin performansını optimize etmede ve sistemin maksimum güç noktasında çalıştırılmasında önemli bir rol oynar. Bu makalede fotovoltaik sistemlerin maksimum güç noktasının izlenmesinde yaygın olarak kullanılan optimizasyon yöntemlerinden Değiştir & Gözlemle (P&O) ve Artan İletkenlik(InC) algoritmalarının hem deneysel hemde Matlab/Simulink benzetim modeli kullanılarak kapsamlı bir değerlendirilmesi sunulmuştur. Deneysel çalışmalar Arduino Uno kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve 1 KHz PWM çıkışı boost konvertör devresindeki mosfetin tetiklenmesi için kullanılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar InC yönteminin ani değişen ışınım altında P&O algoritmasına göre daha iyi yakınsama ve daha yüksek doğrulukla maksimum güç noktasını tespit edebildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Maksimum Güç Noktası İzleme, Artan İletkenlik, Değiştir&Gözlemle, Güneş Enerjisi

* Corresponding Author: mustafaseker@cumhuriyet.edu.tr

1. Giriş

Dünyada genelinde enerjiye duyulan gereksinimin artması, ülkeler arasında ortaya çıkan siyasi gelişmeler ve fosil yakıtların neden olduğu küresel ısınma gibi birçok faktör enerji arzını etkilemektedir. Günümüzde ihtiyaç duyulan bu enerji arzının büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olması ve kullanımlarında ortaya çıkan zararlı sera gazları nedeniyle ülkeler çevreye daha duyarlı ve kendi kaynaklarını daha etkin kullanabilecekleri rüzgâr, güneş ve jeotermal enerji gibi alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında fotovoltaik enerji, enerji sorununu aşmada en dikkat çekici yöntemlerden biri olup, daha az bakım gerektirmesi ve uzun bir ekonomik işletme ömrüne sahip olması nedeniyle önemli bir avantajı sahiptir(Tan et al., 2004; Zaki Diab & Rezk, 2017).

Fotovoltaik (PV) modüller güneş enerjisine maruz kaldıklarında, güneşten almış oldukları enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Bu dönüşüm gerçekleşirken, PV sistemler enerji üretiminde birçok çevresel faktörden etkilenmektedir. Ancak solar radyasyon ve sıcaklıkta meydana gelen değişimler PV hücrelerin çalışmasını etkileyen en önemli iki parametreyi oluşturmaktadır. Bu parametrelerin değişimlerine bağlı olarak PV modüller lineer olmayan bir üretim karakteristiğine sahiptir. Bu nedenle her çevresel koşulda PV sistemin maksimum güçte çalışmasını sağlayan tek bir çalışma noktası vardır ve bu nokta maksimum güç noktası (MPP) olarak adlandırılır. PV sistemlerden maksimum verim elde edebilmek için sistem MPP noktasında çalıştırılmalıdır. Uygun güç elektroniği ekipmanlarının kullanımı ve mikroişlemci tabanlı izleme algoritmaları (MPPT algoritmaları) kullanılarak PV sistemler maksimum güç noktasında çalıştırılabilir.

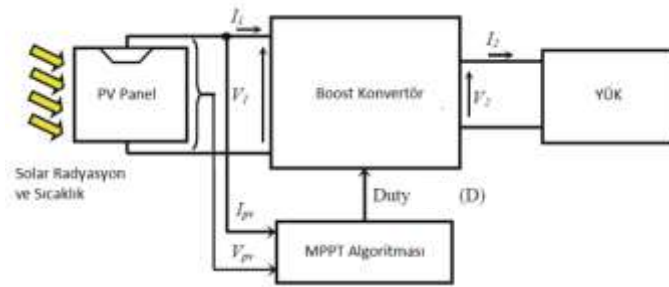
PV sistemler şebekeden bağımsız ya da şebekeye bağlı olarak çalıştırılabilir. Şebekeden bağımsız sistemlerde, MPPT algoritmaları genellikle DC-DC dönüştürücüler yardımıyla uygulanır. Bu sistemlerde fazla enerjiyi depolamak için bataryalar gerekebilir. Şebekeye bağlı sistemlerde ise PV dizisi tarafından üretilen enerji MPPT kontrol kullanılarak DC-DC dönüştürücü yardımı ile DC baraya veya bir invertör kullanılarak AC baraya aktarılabilir. Her iki durumda da PV hücrelerden maksimum verim elde edebilmek için maksimum güç noktasının izlenmesi ve bu amaç için kullanılan MPPT algoritmasının etkinliği oldukça önemlidir.

PV panelinin etkinliğini artırmak için geliştirilmiş çok sayıda maksimum güç noktası izleme(MPPT) algoritması geliştirilmiştir(Eltawil & Zhao, 2013). Literatürde bu teknikler arasında: Değiştir&Gözlemler (Perturb&Observe-P&O) (Femia et al., 2005; Ishaque et al., 2014; Salam et al., 2013), Artan İletkenlik (Incremental Conductance(InC))(Abdulkadir & Yatim, 2014; Morales-Acevedo et al., 2014; Radjai et al., 2014), Tepe tırmanma (Hill Climbing (HC)) (Xiao & Dunford, 2004)[8], bulanık mantık kontrolü (Rutkowski, 2008) ve Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) teknikleri gibi birçok yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca maksimum güç noktasının izlenmesinde çok sayıda Meta-sezgisel optimizasyon algoritması da geliştirilmiştir(Besheer & Adly, 2012; Kobayashi et al., 2006; Paraskevadaki & Papatianassiou, 2011; Sundaeswaran et al., 2015).

Tüm sunulan algoritmalar kararlı koşullar altında MPPT noktasının izlenmesinde oldukça etkilidir. Ancak, ortam koşulları değiştiğinde maksimum güç noktasının yakalanmasında farklı performansla sahip olmaktadır. Bu çalışma Değiştir & Gözlemler (P&O) ve Artan iletkenlik (InC) algoritmalarının PV sistemlerde maksimum güç noktasının izlenmesindeki performansları deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde PV hücrenin karakteristik yapısı açıklanmıştır. Ayrıca çalışmada tasarlanan DC-DC Boost konvertörün yapısına ilişkin bilgiler sunulmuştur. Üçüncü bölümde ise Değiştir&Gözlemler (Perturb&Observe) ve Artan İletkenlik (Incremental Conductance-InC) algoritmalarının çalışma yapıları ayrıntılı açıklanmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümü deneysel çalışmalarda elde edilen bulgular ve tasarlanan sistemin Matlab/Simulink yardımıyla elde edilen benzetim sonuçları içermektedir. Çalışmanın son bölümünde ise elde edilen bulgulara ilişkin özet bir değerlendirme sunulmuştur.

2. Sistemin Modellenmesi

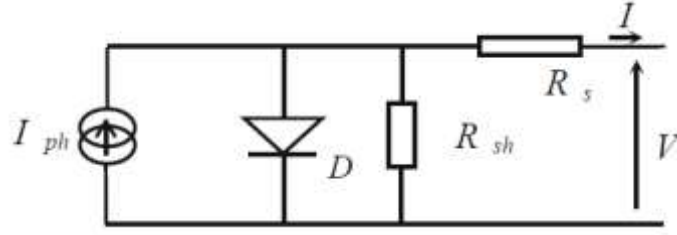
PV sistemin yapısı Şekil 1'de gösterildiği gibi PV modül, DC-DC dönüştürücü ve bir MPPT algoritması bileşenlerinden oluşmaktadır.



Şekil 1. Fotovoltaik sistem yapısı.

2.1. Fotovoltaik Modül

PV hücreler yarıiletken malzemelerden üretilmiş p-n bağlantılar içermektedir. Bu özelliği ile PV hücrenin çalışma karakteristiği p-n diyot karakteristiğine benzerdir ve bir diyot devre yapısında modellenilebilir. PV hücrenin eşdeğer modelini tek bir diyot kullanarak modelleyen elektriksel devre şeması Şekil 2'de sunulmuştur(Sun et al., 2021).



Şekil 2. PV hücrenin tek diyot eşdeğer devre modeli.

Şekil 2'den görüldüğü üzere, PV panelinin tek diyotlu modeli, bir şönt direnci R_{sh} ve bir seri direnç R_s 'nin yanı sıra, P-N bağlantısını taklit eden bir diyot ile bağlı bir kaynak foton akımı I_{ph} içerir. Bu nedenle, PV akımı denklem (1) ile ifadesi ile tanımlanabilir.

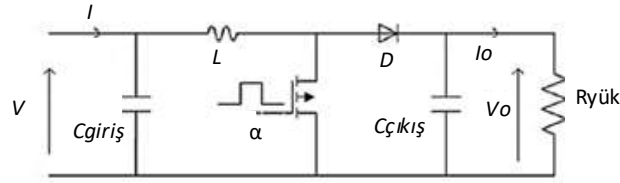
$$I = I_{ph} - I_s \left\{ \exp \left(\frac{V + IR_s}{aKTn_n} \right) - 1 \right\} - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (1)$$

Bu ifadede, V , I_{ph} , T , K sembolleri sırası ile bias voltajı, diyot akımı, Boltzman sabiti ve mutlak sıcaklık. Bu çalışmada deneysel uygulamalarda GESPER marka 22 Watt PV panel kullanılmıştır ve PV panele ait karakteristik özellikler Tablo 1'de gösterilmiştir.

2.2. DC-DC Dönüştürücü Tasarımı

DC-DC dönüştürücüler PV panel ile yük arasında bir görev döngüsüne (Duty Cycle) sahiptir ve bu döngüye göre çalışırlar. Bu görev döngüsü kullanılan MPPT algoritması tarafından hesaplanır ve 0 ile 1 aralığında değişir. DC-DC dönüştürücüler boost, sepic, Buck-Boost gibi farklı DC-DC dönüştürücü topolojilerinde olabilir. MPPT'yi iyi tasarlayabilmek için maksimum güç noktasındaki gerilim ve akıma bağlı olarak tanımlanan PV dizisinin optimal direnci (R_{mpp}) bilinmelidir. Sonrasında ise yük direncinin değeri DC-DC dönüştürücünün tipine göre belirlenir (Aygül et al., 2019).

Bu çalışmada R_{mpp} 'den daha büyük bir yük empedansının kullanılması gereken Şekil 3'deki elektriksel sistem yapısında Boost tipi DC-DC konvertör kullanılmıştır.



Şekil 3. DC-DC Boost Dönüştürücü.

Bu dönüştürücünün denklemleri görev döngüsüne bağlı olarak aşağıda gösterilmiştir:

$$V_0 = \frac{V}{1 - \alpha} \quad (2)$$

$$I_0 = I \cdot (1 - \alpha) \quad (3)$$

Bu denklemlerde; α - görev döngüsü, V dönüştürücü giriş gerilimi, V_0 ve I_0 ise sırası ile dönüştürücünün çıkış gerilimi ve çıkış akımıdır. Çalışmada tasarlanan Boost konvertörün parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

3. MPPT Algoritmaları

Çalışmanın bu bölümünde değiştir ve gözlemler (Perturb&Observe-P&O) ve Artan İletkenlik (Incremental Conductance-InC) algoritmalarının çalışma yapıları ayrıntılı olarak sunulmuştur.

3.1. Değiştir ve Gözlemler (P&O) Algoritması

Değiştir ve gözlemler (P&O) algoritması, fotovoltaik panellerin karakteristiğini tanımlamada kullanılan güç-gerilim (P-V) eğrisinden faydalanılarak geliştirilmiştir. P&O algoritmasında panel gücü sürekli olarak izlenir (Tekeshwar Prasad Sahu and T. V. Dixit, 2014) İzlenen güç değerine bağlı olarak sistemin maksimum güç noktasına ulaşmak için panel geriliminde artırma ve azaltma yapılır. Her bir arttırım ve azaltım işleminden sonra güçteki değişim hesaplanır. Eğer artış pozitif değerde ise çalışma gerilimi tekrar arttırılır. Bu işlem DC-DC konvertör modülünde mosfete uygulanan görev döngüsü ile gerçekleştirilir ve panelin maksimum güç noktasına ulaşması sağlanır. Bu işlem sırasında sürekli olarak bir denetleme yapıldığından panel gücündeki değişimler küçük dalgalanmalar içerir (Rajiv Roshan; Yatendra Yadav; S Umashankar; D Vijayakumar; D P Kothari, n.d.) Algoritmanın çalışmasında izlenen gücün maksimum güç noktasının sağında veya solunda olması durumuna bakılır. Eğer hesaplanan güç değeri maksimum güç noktasının sağındaysa gerilim değeri arttırılarak güç değerinin de arttırılması sağlanır. Bu durumda şayet gerilim değeri azaltılırsa güç değeri de azalacaktır. Ters olarak izlenen güç maksimum güç noktasının sol tarafında ise gerilim değeri arttırıldığında ilk durumun tersi olarak güç azalacaktır. Gerilim değeri azaltıldığında ise güç artacaktır. Böylece gerilim değişimindeki değere bağlı olarak güçteki değişim izlenir ve sonraki

adımda izlenecek gerilim değerine karar verilir. Değiştir ve gözlemler algoritması için maksimum güç noktasına ulaşmada izlenen gerilim değişim kararı Tablo 3’de verilmiştir. Algoritmanın işleyişini gösteren akış diyagramı ise Şekil 4’de sunulmuştur.

Tablo 1. Standart koşullarda GESPER 22 W fotovoltaik panel karakteristikleri.

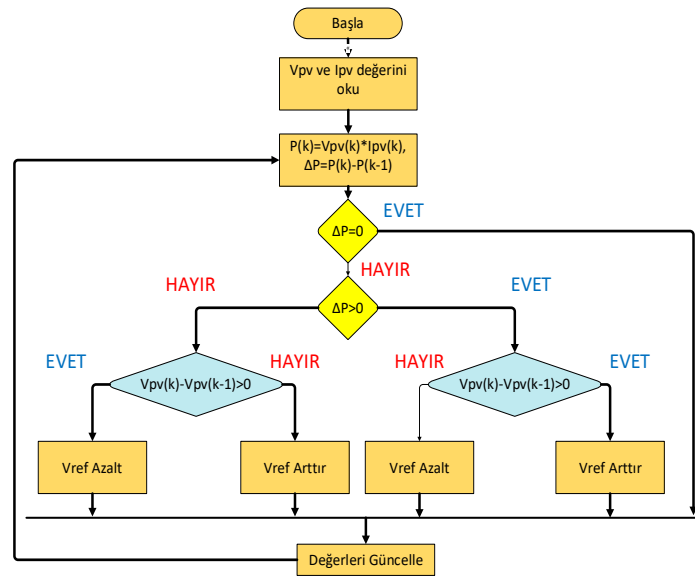
| c | Değerler |
|---|-----------|
| MPP | 22 W |
| V_{mp} (MPP gerilimi) | 18.92 V |
| I_{mp} (MPP akımı) | 1.25 A |
| I_{sc} (Kısa Devre Akımı) | 1.31 A |
| V_{oc} (Açık Devre Gerilimi) | 22.58 V |
| K_v (V_{oc} 'nin sıcaklık çarpanı) | -0.3409 |
| K_i (I_{sc} 'nin sıcaklık çarpanı) | 0.0447 |
| N_s (Hücre Sayısı) | 16 |
| I_s (Diyot Saturasyon Akımı) | 2.679e-11 |
| İdealite faktörü | 1.0036 |

Tablo 2. Boost DC-DC Dönüştürücünün parametreleri

| Parametre | Değerler |
|----------------------------------|-------------|
| İndüktör (L) | 20 mH |
| Giriş Kondansatörü (C_{in}) | 470 μ F |
| Çıkış Kondansatörü (C_{out}) | 220 μ F |
| Anahtarlama Frekansı | 1 kHz |
| Yük direct | 47 Ω |

Tablo 3. Gerilim değeri değişimi karar tablosu.

| Gerilim Değerindeki Değişim | Güçteki Değişim | Değişimin Yönü |
|-----------------------------|-----------------|----------------|
| Pozitif | Pozitif | Pozitif |
| Pozitif | Negatif | Negatif |
| Negatif | Pozitif | Negatif |
| Negatif | Negatif | Pozitif |



Şekil 4. Değiştir & Gözlemler Algoritması Akış Şeması.

3.2. Artan İletkenlik (InC) Algoritması

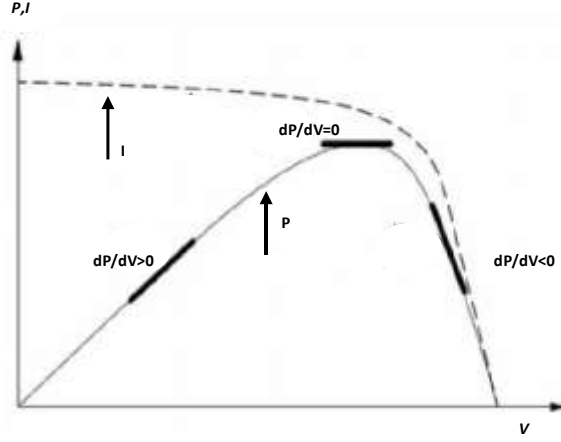
Artan iletkenlik algoritmasında Şekil 5’de gösterildiği gibi güneş panelinin güç karakteristiğinden faydalanılır. Panelde maksimum güç noktasında eğim sıfır olacaktır. Maksimum güç noktasının sağında eğim pozitif, solunda ise eğim negatif olacaktır. Bu karakteristik eğriden faydalanarak aşağıdaki denklemler ile ifade edilir (BADAK & YILDIZ, 2021).

$$\frac{dP}{dV} = 0, \text{Maksimum güç noktası} \quad (4)$$

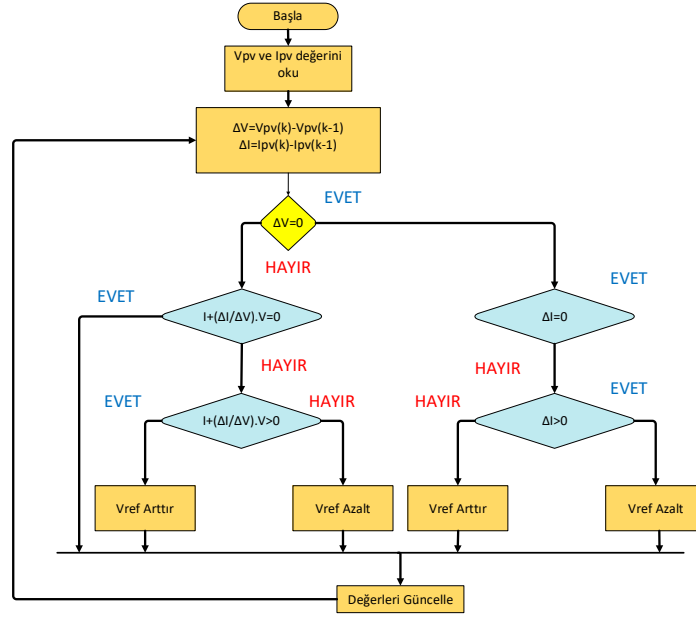
$$\frac{dP}{dV} > 0, \text{Maksimum güç noktasının solu} \quad (5)$$

$$\frac{dP}{dV} < 0, \text{Maksimum güç noktasının sağı} \quad (6)$$

Bu eşitlikler dikkate alınarak artan iletkenlik algoritmasının akış şeması ise Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 5. PV hücrede artan iletkenlik algoritmasının çalışma eğrisi.



Şekil 6. Artan İletkenlik Algoritması Akış Şeması.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Çalışmanın bu bölümünde, Bölüm 2 ve Bölüm 3'de açıklanan DC-DC konvertör yapısı ve sunulan optimizasyon algoritmaları kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel olarak elde edilen panel gücü ve MPPT noktasının izlenmesi grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca deneysel olarak elde edilen güç değerleri ile P&O ve InC algoritmaları ile elde edilen maksimum güç noktasındaki salınım değerleri ve algoritmaların yakınsama süreleri karşılaştırılmıştır.

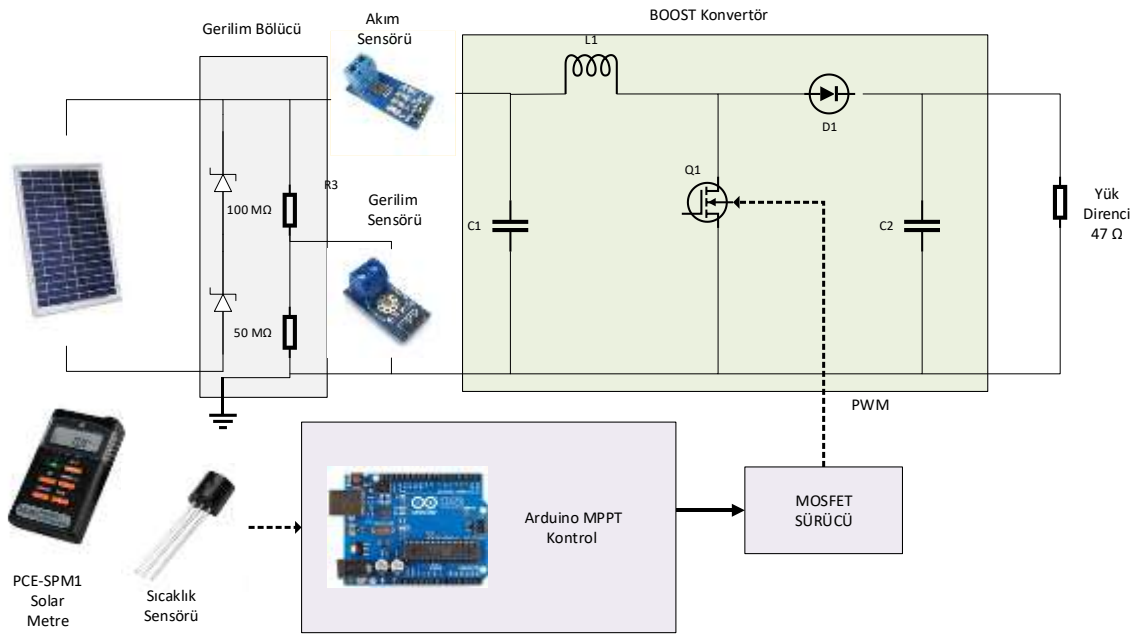
Bu çalışmada maksimum güç izleyici Arduino Uno kullanılarak Atmega 328 işlemci yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Maksimum güç izleyici için tasarlanan sistem yapısı ve bu sistem yapısına göre hazırlanan ölçüm düzeneği sırası ile Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir. Boost DC-DC dönüştürücü yapısında kullanılan devre elemanları için Tablo 2'de sunulan parametreler kullanılmıştır. Akım ve gerilim ölçümüne Arduino ile uyumlu ACS712-20A akım sensörü ve voltaj sensörü yardımıyla akım, gerilim değerleri ölçülerek, hesaplanan güç değerleri kayıt altına alınmıştır. Kayıt işleminde Arduino uyumlu SD kart modülü dataloger olarak tasarlanmıştır. Arduino 1 KHz PWM frekansına sahiptir ve bu frekans değerinde mosfet sürücü yardımı ile MOSFET'in tetiklenmesi gerçekleştirilmiştir.

Sistemde solar radyasyon değişimine bağlı olarak MPPT yakınsama sürelerinde değerlendirilmiştir. Sistemin çalışma koşullarındaki sıcaklık değeri sıcaklık sensörü yardımı ile ve solar radyasyon değerleri ise endüstriyel PCE-SPM1 Solar Metre kullanılarak ölçülmüştür.

Sıcaklık ve solar radyasyon durumunda PV hücrenin üretmiş olduğu maksimum güç noktasına ilişkin karakteristik eğriler tasarlanan özel bir devre yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan devre için patent ön araştırması devam ettiği için IV ölçümü ve devre yapısı detaylı olarak sunulmamıştır.

Çalışmada kullanılan GESPER 22W fotovoltaiik panel için fotovoltaiik sistemin tek diyot devre modeli ve deneysel olarak ölçülen I-V eğrisi ile P-V karakteristik eğrisi Şekil 9’ sunulmuştur. Karakteristik ölçümü 954 W/m² solar radyasyon ve 29 C⁰ sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Solar radyasyon değişiminde sunulan sistemin yakınsama süresi ve değerlerini gözlemleyebilmek için panel üzerine gölgelenme yapılmıştır.

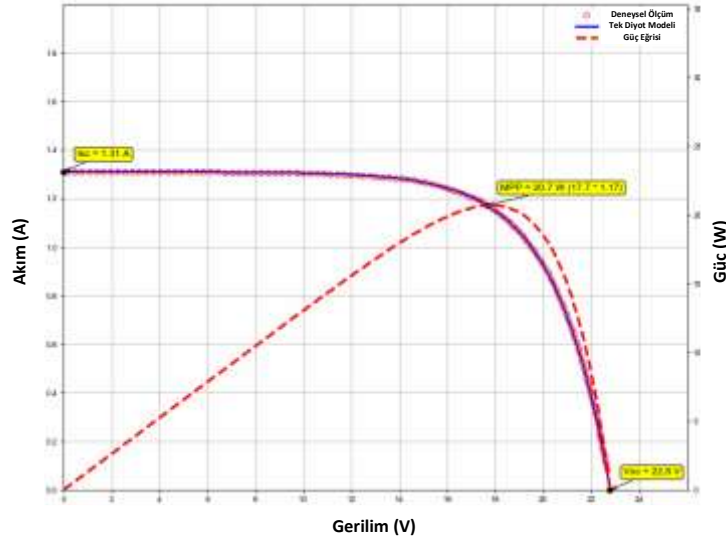
Ayrıca teorik sonuçlar ile uygulanan sistemin doğruluğunu test etmek için sistem Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Matlab/Simulink ortamında tasarlanan MPPT modeli Şekil 10’da sunulmuştur. Bu modelde PV panelin modellenmesinde Tablo 2’de sunulan karakteristik değerler kullanılmıştır. Bu değerlere bağlı olarak PV hücrenin farklı solar radyasyona maruz kalması durumundaki karakteristik eğriler 1000 W/m², 900 W/m² ve 250 W/m² ışınım değerleri için Şekil 11’de gösterilmiştir.



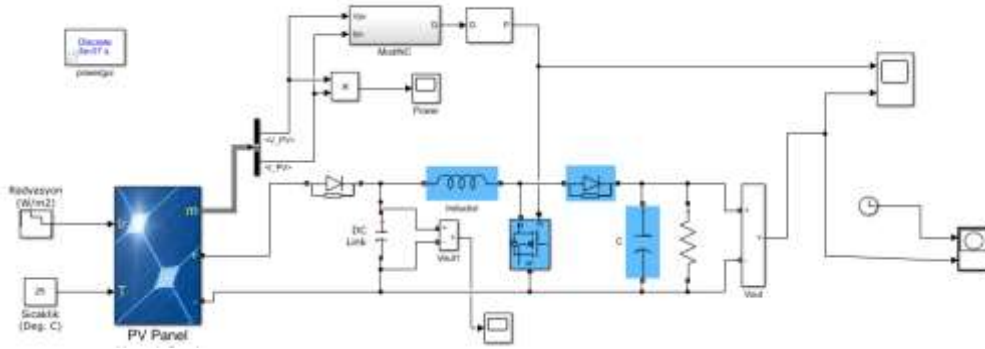
Şekil 7. Deneysel olarak tasarlanan MPPT sistemi.



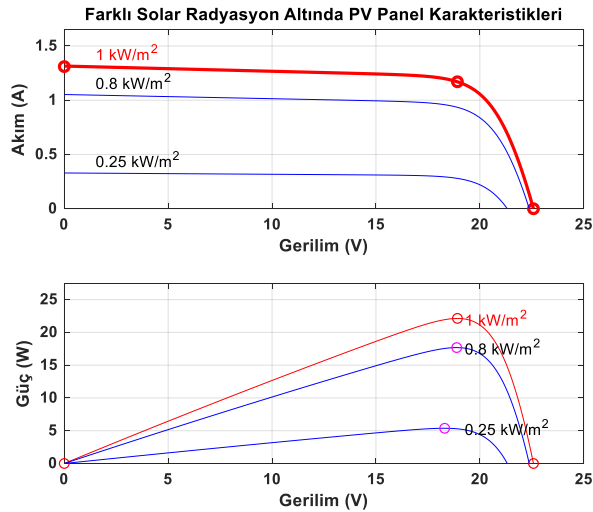
Şekil 8. Deneysel ölçüm düzeneği.



Şekil 9. PV panel için tek diyot modeli ve deneysel olarak elde edilen I-V ve P-V karakteristikleri (1000 W/m^2 ve 29 C^0 'de).

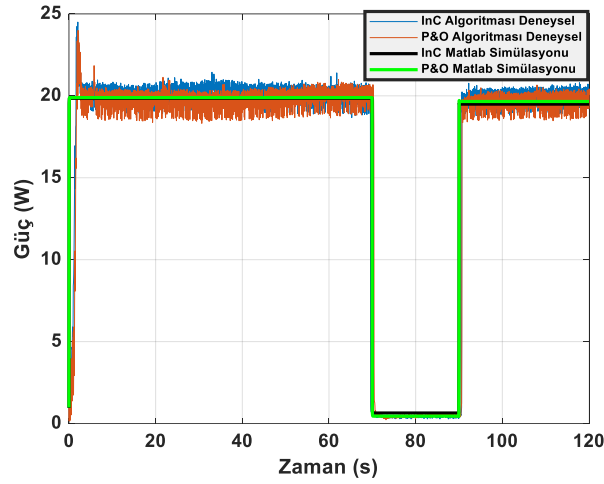


Şekil 10. Sunulan MPPT Sisteminin Matlab/Simulink Sistem Modeli.

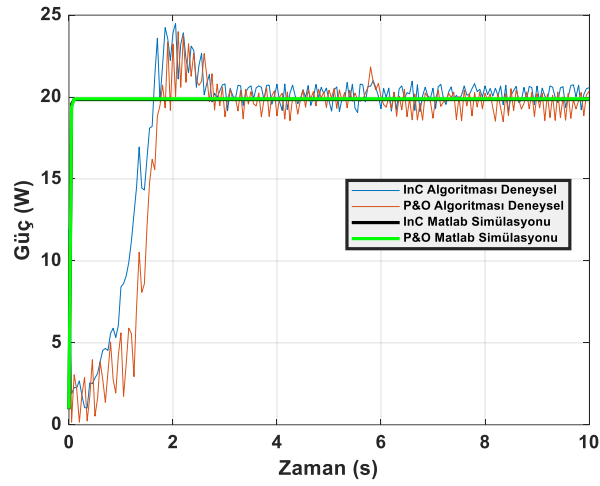


Şekil 11. PV panelin farklı solar radyasyon altında Matlab/Simulink ile elde edilen I-V ve P-V karakteristik eğrileri (29 C^0 'de).

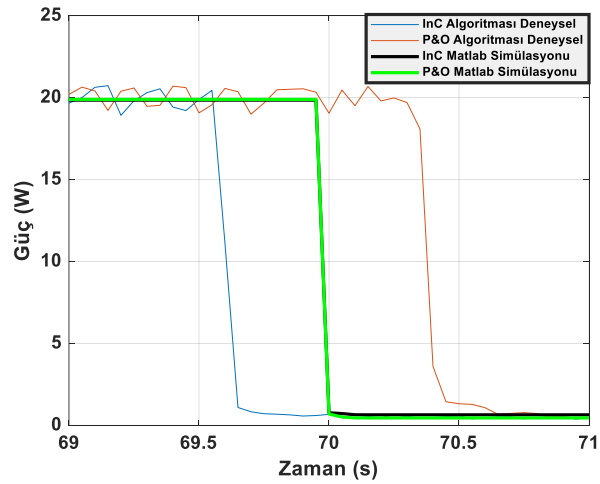
Şekil 7'de sunulan deneysel ölçüm düzeneği kullanılarak 930 W/m^2 ve 29 C^0 sıcaklıkta deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca aynı koşullar altında Şekil 10'da sunulan Matlab/Simulink modeli ile simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Sistem 120 saniyelik ölçüm aralığında 0.05 saniye örnekleme periyodu ile kayıt altına alınmış ve güç eğrileri incelenmiştir. Sistemin MPPT noktasını yakalama süresi, salınım değerleri ve algoritmaların yakınsama sürelerini değerlendirebilmek için 70-80. saniyelerde PV panel üzerine gölgeleme yapılarak solar radyasyon değerinin 110 W/m^2 solar radyasyon değerine hızla düşmesi ve yükselmesi durumundaki değişikliklerde incelenmiştir. Deneysel ve Benzetim sistemi yardımı ile sunulan MPPT algoritmaları kullanılarak maksimum güç noktasını izleme eğrileri sırası ile Şekil 12-15 de sunulmuştur.



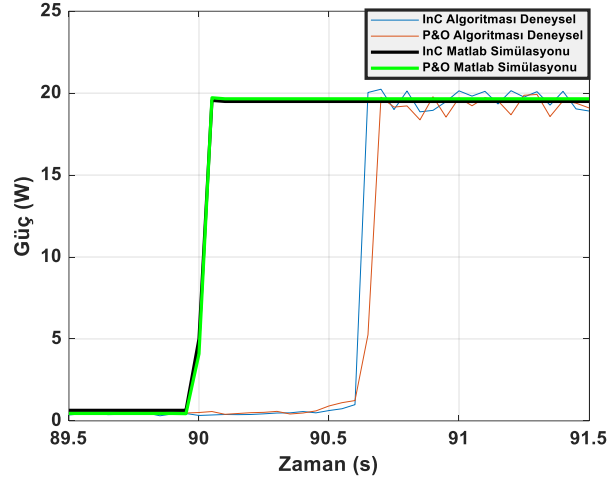
Şekil 12. Deneysel ve Simülasyon yardımı ile maksimum güç noktasının elde edilen güç değişim eğrileri.



Şekil 13. Deneysel ve Simülasyon yardımı ile maksimum güç noktasının elde edilen 0-10 saniye aralığında maksimum güç noktasının izlenmesinde elde edilen güç değişim eğrileri.



Şekil 14. Deneysel ve Simülasyon yardımı solar radyasyonun 100 W/m^2 değerine hızlı düşmesi durumunda maksimum güç noktasının izlenmesinde elde edilen güç değişim eğrileri.



Şekil 15. Deneysel ve Simülasyon yardımı solar radyasyonun 930 W/m^2 değerine hızlı yükselmesi durumunda maksimum güç noktasının izlenmesinde elde edilen güç değişim eğrileri.

Şekil 13'den görüldüğü gibi deneysel olarak gerçekleştirilen çalışmalarda maksimum güç noktasını yakalama süresi hem P&O hem de InC algoritması için yaklaşık olarak 3 saniye olmaktadır. Bu süre Arduino PWM çıkışı olan 1 kHz frekans değerini arttırarak azaltılabilir. Maksimum güç noktasının yakalanmasından sonra ise solar radyasyonun hızlı değişimine her iki algoritmada yüksek hassasiyetle tepki vermektedir ve sistem yaklaşık 0.1 saniyede MPPT noktasını yakalamaktadır. Algoritmaların salınım değerleri, MPPT noktasını yakalamadaki yakınsama süreleri özet olarak Tablo 4'de sunulmuştur. Gerçekleştirilen ölçüm periyodunda 930 W/m^2 'de gerçekleştirilmiştir ve bu değerde solar panel 20,4 Watt güç üretmektedir.

| Deneysel Sonuçlar | | | | | |
|--------------------|------------|------------|------------------|------------------|-------|
| Algoritma | V_{\min} | V_{\max} | V_{ort} | Yakınsama Süresi | Verim |
| InC | 17,79 | 21,04 | 20,10 | 0.022 | 0,985 |
| P&O | 18,32 | 21,84 | 19,73 | 0.027 | 0,967 |
| Benzetim Sonuçları | | | | | |
| InC | 19,890 | 19,899 | 19,89 | 0.08 | 0,975 |
| P&O | 19,89 | 19,89 | 19,84 | 0.08 | 0,972 |

4. Sonuç ve Öneriler

Bu makalede uygulamada sık kullanılan bazı önemli MPPT algoritmaları arasında karşılaştırmalı bir analiz hem deneysel hem de Matlab/Simulink benzetim modeli kullanılarak sunulmuştur. Bu karşılaştırmada, verimlilik ve yakınsama süresi gibi MPPT sonuçlarının analizine odaklanılmıştır. Maksimum güç noktası izleme algoritmaları için GESPER 22W güneş panelinin MATLAB Simulink tabanlı bir matematiksel modeli oluşturulmuştur. Ayrıca oluşturulan model deneysel olarak çalıştırılmıştır. Çalışma, Değiştir ve Gözlemler (P&O) ve Artan iletkenlik (InC) algoritmaları incelenmiştir. Deneysel sonuçlar artan iletkenlik yönteminin P&O algoritmasından daha iyi yakınsama ve verim değerine sahip olduğunu ve daha yüksek performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu algoritmalar fotovoltaik sistemin hem dinamik hem de kararlı durumlarında kullanılabilir. Ayrıca sunulan yaklaşım ile, DC-DC dönüştürücü sisteminin verimliliğini de artırılabilir.

Geleneksel P&O ve InC yöntemleri genellikle küçük ve sabit bir iterasyon adım boyutu kullanır, bu da özellikle hızla değişen ışınlama koşulları altında dinamik izleme hızından ödün verir. Kararlı durum salınımları ve dinamik davranış arasındaki bu dengelyi ele almak için, uyarlanabilir değişken yineleme adım boyutlarına sahip çeşitli modifiye P&O ve INC yöntemleri önerilebilir. Gelecekteki çalışmalarda bu değiştirilmiş yöntemleri incelemeye odaklanarak algoritmaların parçalı gölgeleme altındaki durumları incelenecektir.

5. Teşekkür

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (CUBAP) tarafından HAMYO-003 numaralı proje numarası ve TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) tarafından yürütülen, 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 2021 yılı 2 dönem projeleri kapsamında 1919B012111890 numaralı proje ile desteklenmiştir. Yazarlar çalışmayı destekleyen kuruluşlara katkılarından dolayı teşekkür etmektedir.

Referanslar

- Abdulkadir, M., & Yatim, A. H. M. (2014). Hybrid maximum power point tracking technique based on PSO and incremental conductance. *2014 IEEE Conference on Energy Conversion, CENCON 2014*, 271–276. <https://doi.org/10.1109/CENCON.2014.6967514>
- Aygül, K., Cikan, M., Demirdelen, T., & Tumay, M. (2019). Butterfly optimization algorithm based maximum power point tracking of photovoltaic systems under partial shading condition. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 00(00), 1–19. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1677818>
- BADAK, U., & YILDIZ, A. B. (2021). Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Verim, Salınım Miktarı ve Yakınsama Süresi Açısından Karşılaştırılması. *European Journal of Science and Technology*, 21, 463–472. <https://doi.org/10.31590/ejosat.822975>
- Besheer, A. H., & Adly, M. (2012). Ant colony system based PI maximum power point tracking for stand alone photovoltaic system. *2012 IEEE International Conference on Industrial Technology, ICIT 2012, Proceedings*, 693–698. <https://doi.org/10.1109/ICIT.2012.6210019>
- Eltawil, M. A., & Zhao, Z. (2013). MPPT techniques for photovoltaic applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 793–813. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.022>
- Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G., & Vitelli, M. (2005). Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 20(4), 963–973. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2005.850975>
- Ishaque, K., Salam, Z., & Lauss, G. (2014). The performance of perturb and observe and incremental conductance maximum power point tracking method under dynamic weather conditions. *Applied Energy*, 119, 228–236. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.12.054>
- Kobayashi, K., Takano, I., & Sawada, Y. (2006). A study of a two stage maximum power point tracking control of a photovoltaic system under partially shaded insolation conditions. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90(18–19), 2975–2988. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2006.06.050>
- Morales-Acevedo, A., Diaz-Bernabe, J. L., & Garrido-Moctezuma, R. (2014). Improved MPPT adaptive incremental conductance algorithm. *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, 5540–5545. <https://doi.org/10.1109/IECON.2014.7049347>
- Paraskevadaki, E. V., & Papathanassiou, S. A. (2011). Evaluation of MPP voltage and power of mc-Si PV modules in partial shading conditions. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 26(3), 923–932. <https://doi.org/10.1109/TEC.2011.2126021>
- Radjai, T., Rahmani, L., Mekhilef, S., & Gaubert, J. P. (2014). Implementation of a modified incremental conductance MPPT algorithm with direct control based on a fuzzy duty cycle change estimator using dSPACE. *Solar Energy*, 110, 325–337. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.09.014>
- Rajiv Roshan; Yatendra Yadav; S Umashankar; D Vijayakumar; D P Kothari. (n.d.). *Modeling and simulation of Incremental conductance MPPT algorithm based solar Photo Voltaic system using CUK converter*.
- Rutkowski, L. (2008). Computational intelligence: Methods and techniques. In *Computational Intelligence: Methods and Techniques* (1st ed.). Berlin: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-76288-1>
- Salam, Z., Ahmed, J., & Merugu, B. S. (2013). The application of soft computing methods for MPPT of PV system: A technological and status review. *Applied Energy*, 107, 135–148. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.02.008>
- Sun, L., Wang, J., & Tang, L. (2021). A Powerful Bio-Inspired Optimization Algorithm Based PV Cells Diode Models Parameter Estimation. *Frontiers in Energy Research*, 9(April), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.675925>
- Sundareswaran, K., Vignesh kumar, V., & Palani, S. (2015). Application of a combined particle swarm optimization and perturb and observe method for MPPT in PV systems under partial shading conditions. *Renewable Energy*, 75, 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.09.044>
- Tan, Y. T., Kirschen, D. S., & Jenkins, N. (2004). A model of PV generation suitable for stability analysis. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 19(4), 748–755. <https://doi.org/10.1109/TEC.2004.827707>
- Tekeshwar Prasad Sahu and T. V. Dixit. (2014). No Title. *Modelling and Analysis of Perturb & Observe and Incremental Conductance MPPT Algorithm for PV Array Using Cuk Converter*.
- Xiao, W., & Dunford, W. G. (2004). A modified adaptive hill climbing MPPT method for photovoltaic power systems. *PESC Record - IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference*, 3, 1957–1963. <https://doi.org/10.1109/PESC.2004.1355417>
- Zaki Diab, A. A., & Rezk, H. (2017). Global MPPT based on flower pollination and differential evolution algorithms to mitigate partial shading in building integrated PV system. *Solar Energy*, 157, 171–186. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.08.024>



Doğal-Ekolojik Üç Yapı Malzemesi Taş Kerpiç ve Ahşabın Sürdürülebilirlik Analizi

İdris Oğurlu

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2677-9513),
iogurlu@ticaret.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 17 Mayıs 2023 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2024)

(DOI: 10.5281/zenodo.10646951)

ATIF/REFERENCE: Oğurlu, İ., (2024). Doğal-Ekolojik Üç Yapı Malzemesi Taş-Kerpiç-Ahşabın Sürdürülebilirlik Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (53), 150-167.

Öz

Çevre sorunlarını oluşturan faktörlerden biri de yapı inşaat sektörünün faaliyetidir. Bu faaliyetin olumsuz etkilerinin azaltma ihtiyacı bizi yapılarda ekolojik tasarıma ve ekolojik malzeme kullanmaya yönlendirmektedir. Bu çalışmada ekolojik yapı malzemelerinden taş, kerpiç ve ahşap ele alınmıştır. Bu malzemelerin sürdürülebilirliğini değerlendirmede kullanılacak ölçütler, kategori ve göstergeler geliştirilmiş ve bunların ışığında bu üç malzemenin sürdürülebilirlikleri analiz edilmiştir.

Taş, toprak ve ahşabın sürdürülebilirliğinin yüksek olduğu, enerji korunumuna, kullanıcının sağlığının ve doğal çevrenin korunmasına olumlu katkılar sağladığı, bu malzemelerin yapılarda kullanımının yaygınlaşmasının Ülkemizin çevresel performansına olumlu katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır. Bu malzemelerinin üretim ve kullanımını arttırmaya yönelik stratejiler belirlenmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir mimarlık, Ekolojik yapı malzemesi, Taş, Kerpiç, Ahşap.

Sustainability Analysis for Natural-Ecological Three Construction Materials: Stone-Adobe and Wood

Abstract

One of the factors that create environmental problems is the activity of the building construction sector. The need to reduce the negative effects of this activity directs us to use ecological design and ecological materials in buildings. In this study, stone, adobe, and wood, which are ecological building materials are discussed. The criteria, categories, and indicators to be used in evaluating the sustainability of these materials were developed and the sustainability of these three materials was analyzed in the light of these.

It has been concluded that the sustainability of stone, soil and wood is high. They contribute positively to energy conservation, the protection of the user's health and the natural environment, and the widespread use of these materials in buildings will contribute positively to the environmental performance of our country. Strategies to increase the production and use of these materials should be determined.

Keywords: Sustainable architecture, Natural ecological building material, Stone, Adobe, Wood.

1. Giriş

Yeryüzü çevresel bağlamda endişe verici gelişmelere sahne olmaktadır. Özellikle küresel ısınma sorunu ekosferi zorlamakta ve uzmanları hayli düşündürmektedir (Suhamad ve Martana, 2020, s.1). Doğanın rejenerasyon kabiliyetine rağmen ekosistemlerin maruz kaldığı benzeri görülmemiş yoğun baskı ekosferin dengesini bozmuştur (Aytis ve Polatkan, 2010, s.1). Yapı üretimde kullanılan kaynaklar doğada hızla tükenirken; hızla kullanımı artan yapay kaynaklar da tabiata zarar vermektedir (Olğun ve ark, 2019, s.711). Günümüzde ekosistemin hızla bozulmasında en büyük etken, doğal olmayan malzemelerin üretilmeye-kullanılmaya başlanması ve bu esnada çevreye verilen zararlarıdır (Aytis ve Polatkan, 2010, s.1). Bu durum her alanda olduğu gibi mimarlıkta da ekolojik yaklaşımlı çözüm yollarının araştırılması ve geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Yapılarda doğal malzemelerin kullanılması bu ihtiyacı karşılamının yollarından da birini oluşturmaktadır.

İnsanın çevreye hâkimiyeti arttıkça evvelce tamamen doğal haliyle ve şekliyle kullandığı taş, ağaç, bitki gibi malzemeleri gitgide daha fazla şekillendirerek kullanmaya başlamış, ancak bu arada hem doğal olandan belli ölçüde uzaklaşmış hem de doğal kaynaklar üzerindeki yükü artmıştır. Bugün, Dünyada doğal kaynakların gittikçe azalmakta olduğu bilinmekte ve hatta bazılarının gelecek yüzyıla kalmadan tükeneceği tahmin edilmektedir (Sayar ve ark 2009, s. 2067). Ancak ağaç ve toprak gibi yenilenebilen kaynaklar bunun dışında kalacağı için mimari yapılarda malzeme kaynağı olarak varlığını sürdürebilecektir. Dolayısıyla ağaç kaynaklı ahşabın ve yine toprak menşeli kerpicin ve taşın yapı malzemesi olarak sürdürülebilir ve gelecekteki taleplere cevap verebilecek potansiyele sahip oluşları üzerinde durulması gerekmektedir. Bu sebeple bu çalışmada ekolojik yapı malzemesi olarak kabul edilen ve diğer ekolojik malzemelerden çelik cam gibi imalatında yüksek enerji gerektirmeyen, doğrudan doğadan doğrudan elde edilip olduğu gibi veya oldukça basit işlem gördükten sonra kullanılan doğal-ekolojik yapı malzemelerinden taş, toprak ve ağaç malzeme konu edilmiştir. Bunlardan taş, doğadan kayalardan-ocaklardan elde edilen ve doğal karakterde olan materyaldir. Bu malzemeye doğal taş denilmesinin gereksiz olup sadece taş demenin, buna karşılık taşın hammadde olarak kullanıldığı ve taş yerine ikame edilen sınavi ürünlere yapay taş demenin daha doğru olacağı düşünülmektedir. Bu sebeple makaleye konu olan malzeme taş-kerpiç- ahşap şeklinde ifade edilmiştir.

İnsan ihtiyaçlarının doğal çevreye uyumlu olarak, ona zarar vermeden karşılanması, insanın çevreyle uyum içinde yaşaması gerekmektedir. Bu ise bize mimaride ekolojinin prensiplerine uymamızı, ekolojik karakterde tasarımlar geliştirmemizi ve yapılar için ekolojik malzemeler seçmemiz gerektiği mesajını vermektedir. Yapı ürünü seçimini etkileyen kullanıcıyla, doğal ve yapma çevreyle ve idari sistemle ilgili faktörler bulunmaktadır (Balanlı, 1997, s. 35). Bugün için ürün seçiminde çevre sağlığı ve kullanıcı sağlığını koruma ihtiyacını karşılanması önemli derecede öncelik kazanmıştır.

Ekolojik yapı malzemeleri çevreyi ve insan sağlığını koruyan mimari ürünler vermenin en pratik araçlarıdır. Mesela ekolojik yapı malzemesiyle inşa edilen bir ev; Doğayla uyumlu, enerjiden tasarruf sağlayan, inşası oldukça kısa sürede tamamlanabilen, duvarları nefes alan, ısı ve ses yalıtımının sağlandığı, içinde oturanın sağlığını tehdit eden zehirli bileşenlerden korunmuş evdir.

Ekolojik ve sürdürülebilir tasarımın temelini yapıda ekolojik ve sürdürülebilir malzemelerin tercih edilip etkin bir şekilde kullanılması oluşturur. Bina inşaatında yenilenebilir kaynakların ve dönüşebilir malzemelerin kullanılması, sürdürülebilir mimarinin prensiplerindedir (Üstün, 2008, s.3). Yapılarda tabiatla uyumlu malzeme kullanmak, ekolojik mimarlığın prensiplerinden olup buna uygun hareket edilmesi halinde önemli ekolojik kazançlar elde edilebilmektedir. Diğer taraftan, modern mimari, sürdürülebilir bir ortam oluşturan çözümlere gün geçtikçe daha fazla ihtiyaç duymaktadır.

Yapılarda doğal malzemeleri kullanmanın ekolojik, ekonomik ve hatta stratejik önemi vardır.

Sürdürülebilirlik; En kısa tanımı ile bir toplumun ekosistemin ana kaynaklarını tüketmeden, gelecekte de görevini yerine getirebilmesini sağlayacak şekilde ilerlemesidir (Özmehmet, 2008, s. 6).

Sürdürülebilir mimarlık; Kullanmakta olduğumuz kaynaklardan gelecek nesillerin de faydalanması sağlayacak ve onları bu kaynaklardan mahrum etmeyecek tasarımlar yapmamızı gerektirmektedir. Sürdürülebilir yapı; doğal kaynakların ekonomik, sosyal ve kültürel ihtiyaçları karşılayacak şekilde kullanılması, ancak bu kaynakların gelecek nesiller için bu ihtiyaçları karşılayamayacak ölçüde tüketilmemesi veya bozulmaması ile sağlanır (Revuelta-Acosta ve ark. 2010, s.2211). Sürdürülebilir yapı için sürdürülebilir malzeme kullanma ihtiyacı buradan ileri gelmektedir.

Sürdürülebilir malzemenin; zehirli unsurlar ihtiva etmeyip insan sağlığını tehdit etmemesi, geri dönüştürülebilir veya tekrar kullanılabilir karakterde olması, kullanım sonrası ekosistemde hasar veya zararlı bir etki bırakmadan tabiata dönmesi gerekmektedir. Sürdürülebilir malzemenin önemli bir özelliği -ve aynı zamanda avantajı- yerel kaynaklardan (yöreden-yerinden) elde edilebilmesidir (Tufan ve Özel, 2018, s.9).

Diğer yandan ekolojik mimari tasarımın; enerji, kaynak ve malzeme kullanımı noktalarına odaklandığı ve geri dönüşümlü malzeme kullanmak, mümkün olduğunca az enerji tüketmek ve daha çok yenilenebilir enerji kullanmak gibi tasarım ilkeleri çerçevesinde hareket ettiği bilinmektedir (Olğun ve ark. 2017, s 62; Sağdıçoğlu, 2020, s.9; Tavşan ve ark. 2022, s 293). Ekolojik yapı malzemeleri ise yapıdaki diğer görevleri yanında yalıtım görevi de yapan malzemelerdir (Tavşan ve ark. 2022, s. 294). Bu malzemeler iyi yalıtım özellikleri sayesinde yapının ısı kaybını düşük seviyede tutabilmesi, - nefes alması sayesinde - havalandırma ve nemlendirme için gereken enerji sarfiyatını azaltmaları yönüyle aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirliğe uygun malzemelerdir.

Sürdürülebilirliği ele alan çalışmalar göz önüne alındığında sürdürülebilir malzeme için net bir tanım yapılması ve bu doğrultuda malzemenin belirli kriterler bazında irdelenmesinin gerektiği anlaşılmaktadır (Berber, 2012, s.36).

Ekolojik yapı malzemelerini değerlendiren kriterler üç grupta toplanmaktadır. Birincisi malzemenin imal edildiği hammaddenin ve mamulün fiziki ve kimyevi özelliklerini ortaya koymaya yaramaktadır ki bu aynı zamanda malzemenin ekolojik ve ekonomik sürdürülebilirliğine dair ilk planda genel bir fikir vermektedir. İkincisi malzemenin sağlığa, çevreye, topluma ve ekonomiye etkilerini irdelemeyi mümkün kılmaktadır. Üçüncüsü ise malzemenin yapıda kullanılmasıyla ilgili olup kullanım kolaylığı ve dayanıklılığı değerlendirmeye yaramaktadır.

Mimari yapılarda sürdürülebilirlik için yapının ekolojik karakteri yanında ve kullanıcı konforu ve sağlığı ile ilgili özelliklerinin de ölçülmesi gerektirmektedir. Bu ölçütler de üç gruba ayrılabilir. Bunlardan ilki olan ekolojik ölçütler, çevreye saygının gereği olup aynı zamanda tabiat uyumu sağlamaya yöneliktir. Temiz enerji kullanımı, enerji etkileşimi ve geri dönüşümün sağlanması bu gruba girer. İkincisi kullanıcı sağlığı ve konforuna ilişkin kriterlerdir. Bunlar da termal, görsel ve akustik şartlara uygunluğu, malzeme uygunluğunu, hava kalitesi ve elektromanyetik alanlar konularını kapsamaktadır. Üçüncüsü ise yapılabirlik kriterleridir ki bunlar da ekonomik yapılabirlik, teknolojik yapılabirlik ve kullanıcıya kaliteli ortam sağlamaktır. Bu kriterler esasen birbirleri ile etkileşim içerisindeyler.

Doğal malzeme; malzemenin iç yapısına (bünyesine) müdahale etmeden sadece dış yüzünde yapılan işlemler ile elde edilir. Bu tarife uyan yüzlerce malzeme bulunmaktadır. Ancak önde gelenleri; doğal taş, kil ve bunun yanı sıra bitki kökenli olan ahşap saman, hasır, keten, saz, gibi tamamen yeniden dönüşebilir malzemelerdir.

Doğal malzemeler organik kökenlidirler. Doğal yapıda olup doğadan doğrudan alınıp kullanılabilen malzemelerdir. Çoğunlukla işlenmeye hazır veya yarı mamul halde bulunurlar. Genellikle bitki, toprak ve taştan elde edilmektedirler. Bunlarda, ortam şartlarına uymalarını sağlayan vasıfları sayesinde bozulma olmamaktadır. Dolayısıyla, dış mekânda veya dış cephede taş, iç mekânlarda ise daha ziyade ahşap malzemelerin tercih edildiği görülmektedir (Berber, 2012, s. 54).

Geleneksel mimaride yaygın olarak kullanılan ve doğal-ekolojik-sürdürülebilir yapı malzemeleri denildiğinde ilk akla gelen malzemelerden olan taş, kerpiç ve ahşabın bugün modern mimaride ve yapı sektöründe yerini alabilmesi için ekolojik sürdürülebilirliğinin yanı sıra ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğinin de ele alınıp değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada taş kerpiç ve ahşap, sürdürülebilirlik parametreleri ve sürdürülebilir mimarlık kriterlerine göre değerlendirilmektedir. Araştırmanın amacı bu üç malzemenin mimarlıktaki yerinin sürdürülebilirlik parametreleri ışığında tespit edilmesidir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma için -belirlenen amaca yönelik olarak- mimarlık alanında kullanılan yapı malzemelerinden doğal- ekolojik özelliğe sahip üç ayrı malzeme olan taş-kerpiç ve ahşabın araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla mimaride doğal-ekolojik malzemelerin kullanılması ile bu üç malzemenin sürdürülebilirliği konusunda yayınlanmış bilimsel çalışmalar taranmıştır. İlk etapta internet ortamında, içinde; mimarlık, taş, kerpiç, ahşap kelimelerinin geçtiği erişilebilir kaynaklar araştırılmıştır. Ulaşılan kitap makale, bildiri ve araştırma tezleri gözden geçirilerek daha sonra yapılacak veri tabanı taramasında kullanılacak terimler belirlenmiştir.

İkinci etapta, veri tabanları üzerinden tarama yapılmış ve konu hakkında yayınlanmış literatüre ulaşılmaya çalışılmıştır. Veri tabanı tararken kullanılan araştırma terimleri Tablo 1’de gösterilmektedir. Veri tabanı isabetleri başlangıçta başlığa göre, ardından özet ve son olarak tam metin uygunluğuna göre sınıflandırılarak işe yarayanlar değerlendirilip ayrılmış, yaramayanlar ayıklanmıştır.

Tablo 1. Taranan veri tabanları ve aranan terimler (Table 1. Used databases and searched terms)

| Veritabanı | Aranan Terimler | Sonuç sayısı*** |
|------------|---|-----------------|
| | Sürdürülebilir mimarlık VE doğal yapı malzemesi VEYA Ahşap VEYA taş VEYA kerpiç [Tüm Alanlarda] | 458 |
| | Sürdürülebilir mimarlık VE doğal yapı malzemesi VEYA Ahşap VEYA taş VEYA kerpiç [Tüm Metinde] | 739 |
| EKUAL* | Sürdürülebilir mimarlık VE doğal yapı malzemesi VEYA Ahşap VEYA taş VEYA kerpiç [Başlıkta] | 74 |
| | Sürdürülebilir mimarlık VE doğal yapı malzemesi VEYA Ahşap VEYA taş VEYA kerpiç [Konu Terimlerinde] | 196 |
| | Sürdürülebilir mimarlık VE doğal yapı malzemesi** VEYA Ahşap VEYA taş VEYA kerpiç [Özette] | 249 |

* URL- 1: <https://kutuphane.ticaret.edu.tr/ekual-veritabanlari/>

** Doğal yapı malzemesi" terimini "doğal ekolojik yapı malzemesi" veya "ekolojik yapı malzemesi" olarak değiştirdiğimizde sonuç sayısında anlamlı/kaydadeğer bir değişme olmamaktadır.

*** Sadece "architecture; mimari, mimarlık" konularında kaydedilen sayı

Yapılan tarama sonucu elde edilen kaynakların incelenmesi ile yapılarda taş-toprak-aşşap malzemenin kullanımı sürdürülebilir mimarlık ile ilişkilendirilerek başlıca aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır:

1. Taş-kerpiç ve aşşapın yapı malzemesi olarak genel karakteri nedir?
2. Taş-kerpiç ve aşşap hangi teknik özellikleri dolayısıyla yapılarda tercih edilmektedir?
3. Taşın, toprağın ve aşşapın ekolojik özellikleri ve sürdürülebilir mimarlığa uygunluğu nedir?
4. Taş-kerpiç ve aşşap malzemenin ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliği nedir? Bunun artması için neler yapılabilir?
5. Taş-kerpiç ve aşşapın sürdürülebilirliğine ilişkin parametreler hangileridir?
6. Taş-aşşap ve aşşapın sürdürülebilirliği hangi kategorilerde ele alınıp hangi göstergeler ile ölçülebilir?

Bu hususları ortaya çıkarmak üzere önce, İrdemeye esas olmak üzere, ulaşılan veriler organize edilmiş, sonra da elde edilen literatür analitik tarzda irdelenmiştir. Yale Üniversitesi tarafından yayınlanan Çevresel performans raporlarına esas olan indekslerin amaç, politika kategorileri ve göstergelerinden ve bunu konu alan araştırma raporları (Baykan, 2011, s. 3) ile sürdürülebilirlik ölçütleri öneren yazarların (Sayar ve ark. 2009, s.2069; Castanheria ve Bragança, 2014 s. 4) ile Tufan ve Özel (2018, s.11) çalışmalardan yararlanılarak taş- toprak ve aşşap malzemenin sürdürülebilirliğini değerlendirmede kullanılacak ölçütler ve bununla ilgili kategori ve göstergeler geliştirilmiştir. Geliştirilen ölçütler Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2’de malzemenin göstergeye tepkisi basit olarak Var (+), Yok (-) Kısmen(+/-) ve Nötr etki (0) şeklinde belirtilmiş ve bu tepkinin malzeme sürdürülebilirliğiyle ilişkisi irdelenmiştir.

3. Araştırma Bulguları

Taranan veri tabanı adı ve tarama sonucunda ulaşılan bilimsel yayınların sayısı Tablo 1’de gösterilmektedir. Tarama sonuçlarına göre ayrılan literatürün incelenme ve değerlendirmesiyle ulaşılan bulgulara dayanarak geliştirilen malzeme sürdürülebilirlik kategorilerinin adları hemen aşağıda, alt kategori ve göstergeleri ise Tablo 2’de gösterilmiştir. Sürdürülebilirliğin ekolojik, ekonomik ve sosyal boyutlarında belirlenen ve doğal ekolojik yapı malzemeleri için geliştirilen değerlendirme kriterleri ve ana kategoriler şunlardır:

EKOLOJİK BOYUT (Tabiata uyum- doğayı ve doğal kaynakları koruma)

1. Tabiata uyum
2. Atmosfere ve hava kalitesine etki
3. İç mekân hava kalitesine katkı
4. Yenilenemez doğal kaynakları koruma, enerji tasarrufu ve küresel ısınmayı önleme
5. Peyzaj-topografya- toprak ve su kaynaklarına etki
6. Çevreye zararlı atık- gaz ve partikül yayma
7. Hammadde tedariki ve malzemenin dönüşüm kapasitesi
8. Biyoçeşitlilik ve bitki örtüsü
9. Kirlilik kaynakları ve kirleticiler

SOSYAL BOYUT (Toplum ve Kullanıcı sağlık -güvenlik -konforu)

10. Sosyolojik uygunluk
11. Yapı güvenliği- dayanım- konfor

EKONOMİK BOYUT (Teknik yapılabilirlik, kitle üretimine /kullanıma uygunluk ve dayanım)

12. Hammadde tedarik malzeme üretim ve uygulama potansiyeli
13. Yapı yaşam döngüsü

Doğal ekolojik yapı malzemesi olarak ele alınan taş-kerpiç ve aşşapın sürdürülebilir mimaride yerini alması, sürdürülebilirliğin tüm boyutları ile örtüşmesi ile olabileceğinden, her üç malzemenin tek tek ekolojik, ekonomik ve sosyal boyutlarıyla her bir kategoride –geliştirilen kriter ve göstergeler ışığında- ele alınması ve analiz edilmesi yoluna gidilmiştir. Her bir kategoride her bir malzemenin göstergeye cevabını kestirmek için literatürden de yararlanmak suretiyle yapılan toplu değerlendirme Tablo 2’ de gösterilmiş; Analiz bulguları 4. Bölümde tartışılmış, 5. Bölümde ise ulaşılan sonuçlar ve kanaate dayalı öneriler verilmiştir.

3.1. Taş Yapı Malzemelerinin Sürdürülebilirlik Analizine Ait Bulgular

Taş insanlık tarihi boyunca malzeme olarak kullanılmıştır. Bilhassa antik çağ kentlerinin çevreye duvarları gibi gösterişli yapıların vaz geçilmez malzemesi olmuştur. Dolayısıyla daha o dönemlerden itibaren, bu malzemenin temini için taş ocakları açılmaya başlanmıştır (Oğurlu ve ark, 2014, s.228). Ancak sürdürülebilir mimarlıkta yapı malzemesi olarak taşı kullanırken, taşın elde edildiği taş ocağının çevresine yaptığı etkileri bilmek ve ocağın yer aldığı sahadaki jeolojii, fizyografii, toprak -bitki örtüsü - fauna gibi unsurları dikkate almak gerekmektedir (Oğurlu ve ark, 2014 s. 230).

Taş ocaklarının çevresel etkilerinin, üretim faaliyetine başlamadan evvel bilinmesi doğal yapıdaki bozulmayı en aza indirerek alanın onarımında avantaj sağlar. Bu, aynı zamanda -çevre kalitesinin ve ekosistemin korunması dolayısıyla sürdürülebilir kullanıma da hizmet edecektir (Oğurlu ve ark 2014, s.231).

Sürdürülebilirlik kapsamında ele alındığında, tabiata uyum- doğayı ve doğal kaynakları koruma bağlamında şablon kriterlere göre değerlendirilen taş için sırasıyla şu tespitler yapılabilmektedir.

3.1.1. Tabiata uyum

Taş, yer kabuğunu meydana getiren kayaların jeolojik etkiler altında kalması sonucu vücuda gelen doğal, kristal içyapılı ve inorganik esaslı bir malzemedir. Taş ocaklarından elde edilir (Berber 2012, s.55). Doğadan elde edildiği için de mimari tasarımda kullanıldığında da genel olarak doğaya uyumludur. Yöreden elde edilen taş malzeme ise o arazinin jeolojik ürünü olduğu için o taş ile yapılan bina, norm itibarıyla arazinin jeomorfolojisine tam uyum göstermektedir. Uygun bina tasarımları ile vücuda getirilen yapı çevredeki taş binaların pasif güneşlenme ve hava akımlarına yol vermesi önünde bir engel yoktur.

3.1.2. Atmosfere ve hava kalitesine etki

Taş malzeme çevresine herhangi bir gaz yaymadığından atmosfere hava kalitesine zarar verecek herhangi bir etkide bulunmaz. Bu yönüyle yerleşimi hava kirliliğinden koruma ve kirliliği engelleme potansiyeli olan bir malzemedir. Üretim sırasında -iş makinası kullanıldıysa bunlardan çıkan egzoz gazları dışında- havadaki CO₂ ve SO₂ gibi zararlı gazların miktarını artırma potansiyeli yoktur. Bu sebeple, alternatiflerine göre hava kalitesini koruma yönünde olumlu bir pozisyonda bulunmaktadır.

3.1.3. İç mekân hava kalitesine katkı

Yapay taş genelde inorganik uçucu bileşikler veya beton gibi radon gazı yaymadığından taş malzemeyle inşa edilmiş bir yapıda iç mekânda hava kalitesi oldukça iyidir. Ancak taşlardan granitte radon yoğunluğu fazladır olup ortaya çıkan radyoaktif izotopları solumak insan için kanser riski doğurur (Balanlı ve ark. 2004, s. 86; Ergenç 2007, s 45).

3.1.4. Yenilenemez doğal kaynakları koruma, enerji tasarrufu ve küresel ısınmayı önleme

Yakın bir kaynaktan elde edilmiş olmak kaydıyla taş malzemenin gömülü enerji miktarı, kabaca ocaktan çıkarma, nakliye ve şantiyede şekil verme ve duvar örme işlemleri için gereken enerji kadardır. Komplike teknikler ve teknoloji gerekmediği için taşın, doğal olmayan her çeşit yapı malzemesinden çok daha az gömülü enerji barındırdığı söylenebilir.

Taşın yalıtım özelliği iyidir. Binada ısıtma, serinletmede kullanılan enerjiden tasarruf sağlar. Böylece yenilenemez doğal kaynakların koruma ve iklim değişikliğine karşı koyma kapasitesi bakımından avantajlı konumdadır.

3.1.5. Peyzaj-topografya- toprak ve su kaynaklarına etki

Taşın, üretildiği ocakların buldukları arazinin topografyasında iz bıraktığı ve belli ölçüde değişiklikler meydana getirdiği bilinmektedir (Oğurlu ve ark, 2014, s. 228). Çünkü taş ocaklarından hammadde elde edilirken doğa ve peyzaja müdahale edilmektedir. Bu müdahale bir taraftan yaşama ortamlarına bir taraftan da peyzajın görselliğine olumsuz etkide bulunmaktadır (Oğurlu ve ark, 2014, s 228).

Taş ocakları yüzünden değişen rölyefin ve üzerindeki bitki örtüsünün rehabilitasyonu mümkün olduğu gibi, işletme faaliyetinden önce alınacak tedbirlerle olumsuz etkileri azaltmak, işletme faaliyetinden sonra ise mitigasyon işlemleriyle araziye doğal görünüm kazandırmak, doğal dengenin güçlendirmek ve ekolojik yapıyı onarmak mümkündür (Oğurlu ve ark, 2014, s. 235). Ne var ki işletilip faaliyeti sona eren taş ocaklarının bozduğu çevrenin rehabilitasyonu yapılmadan alanın terk edilmesi gibi bir sorunla sıkça karşılaşmaktadır. Özellikle taş materyali çıkarmak için patlatmanın yapıldığı ocakların rölyefi değiştirmesi söz konusudur (Oğurlu ve ark, 2014, s. 227).

Taş ocağı işletmelerinde taş rezervine ulaşmak için üstteki örtü tabakasını kaldırma işlemine dekapaj denilmektedir. Bu tabakada; toprak, toprağın üzerinde yer alan bitkisel ölü materyal ve bu ikisi üzerinde gelişen canlı bitki örtüsü bulunmakta olup bu tabaka flora ve faunaya hayat veren bir kaynak olarak biyolojik/ekolojik potansiyele sahiptir. Ne var ki dekapaj esnasında bitkisel toprak flora ve fauna da belirgin ölçüde zarar görmektedir (Oğurlu ve ark, 2014. S. 228).

Bununla beraber faaliyeti sona eren ocağın ardında nihayet yine taş-toprak gibi doğal bir materyal bıraktığını, ocaktan geriye kalan yapının ise insan ve diğer canlıların hayatını doğrudan tehdit edecek toksik maddeler üretmediği de göz önünde tutulmalıdır. Ocakların arkalarında kimyasal kirlilik bırakmayışları onarımdan sadece fiziki müdahaleyle sonuç alabilmeyi mümkün kılmaktadır (Oğurlu ve ark, 2014, 234).

3.1.6. Çevreye zararlı atık- gaz ve partikül yayma

Taş malzeme –granit hariç tutulacak olursa- sağlığa zararlı uçucu bileşik, ağır metal ve radyoaktif madde içermediği için çevreye verdiği bir zarar söz konusu bulunmamaktadır. Katı atık üretmemekte, çünkü en küçük bir parçası bile malzeme olarak değerlendirilebilmektedir. Dolayısıyla yapay malzeme alternatiflerine göre atık üretmeme konusunda son derece avantajlıdır.

3.1.7. Hammadde tedariki ve malzemenin dönüşüm kapasitesi

Uzun ömürlü bir malzeme olması dolayısıyla çok uzun yıllar sonra da başka bir yapıda, başka bir amaçla kullanılabilmesi, yüksek geri dönüşüm ve yeniden kullanım kapasitesi bakımından taşı emsalsiz kılmaktadır. Hammaddenin yerel kaynaklardan tedarik edilmesi kaydıyla bu avantaj onu diğer ekolojik malzemelerin de önüne geçirmektedir. Yerel kaynaklardan elde edilmesi önünde ise

ülkemizde taş ocaklarının yaygın oluşu ve taşın gerektiğinde araziden toplanabileceği birçok yer ve yörenin bulunması dolayısıyla engel yoktur.

3.1.8. Biyoçeşitlilik ve bitki örtüsüne etki

Taş ocağı işletmelerinde yapılan dekapaj, alanın bitki örtüsünü tahrip edebilir ve bu arada faunayı da etkileyebilir. Ancak bu bazen de alanda önceden olmayan yeni bitkilerin gelişmesine uygun ve buna bağlı olarak yeni fauna elemanlarının barınabileceği bir takım yaşama alanlarının (biyotop ve habitatların) ortaya çıkmasına da yol açabilir. Terk edilmiş taş ocakları ise; kesim kenarı, şev aynası, geçici veya kalıcı su bulunduran ocak tabanı, moloz yığınları, taşıntı materyali gibi dar alanda bitki ve hayvan türlerine hitap eden çok çeşitli yaşama ortamının birbiri içinde yer aldığı bir ekosistem tipi meydana getirirler. Bu ise fauna için yeni habitat ve biyotopların oluşması demektir. Buralara önceden orada bulunmayan birçok yeni fauna elemanı gelebilir (Oğurlu ve ark, 2014, 230).

3.1.9. Kirlilik kaynakları ve kirleticiler

Taş bir bina veya taştan yapılmış yapılar bir hayvanların kuş, sürüngen ve omurgasız gruplarından kısım fauna türleri için barınak ve yuva yerleri gibi habitatlar oluşturur. Sözgelimi serçe gibi bir kuş, betonarme bir binanın duvarında bulamayacağı yuva yapma imkânını taş binada bulabilir. Taştan örülmüş bir bahçe duvarı, kertenkele-salyangoz-kelebek gibi birçok tür için elverişli barınma veya yumurtlama yerleri olur.

3.1.10. Sosyolojik uyum

Taşın yapılarda sağlıklı ortamlar oluşturma kapasitesi yeterlidir. Özellikle ortamda termal konforu sağlaması, sağlığa zararlı mikroorganizmaların çoğalmasına izin vermemesi yönüyle kullanıcıya sağlıklı mekânlar sunar. Keza işçi sağlığını tehdit eden bileşikler içermez.

Taş malzemenin eski devirlerden beri her toplumda, her nevi yapıda kullanılmış olması onun insanların yapı ihtiyacını kolaylıkla karşılayacak kapasitede olduğunu gösterir. Bugün de ev, işyeri, eğitim veya kültürel amaçlı taş binaların inşası önünde engel yoktur. Mesele, sanayi ürünü yapay taşların piyasaya hâkim olması ve doğal taşın o ürünlerle ekonomik yönden rekabet edememesidir.

3.1.11. İşçi sağlığı, yapı güvenliği, dayanım ve konfor

Taşın insan sağlığı ve dolayısıyla kullanıcı sağlığı üzerinde olumsuz hiçbir etkisi bulunmamaktadır. Taş yanmadığı için taş yapılar yangına dayanıklıdır. Keza taş sel önünde de sıkı durur. Alternatiflerine göre suya karşı da son derece dayanıklıdır. Ancak temelin oturduğu zeminin suya hassasiyeti ve taşın ağırlığı dolayısıyla temele binecek yük dikkate alınarak heyelan bölgelerinde veya heyelan riski olan yerlerde hafif yapıların ve yapı malzemesinin taş tercih edilmesi gerekmektedir. Yığma taş yapı şeklinde inşa edilen yapılar deprem gibi yatay yükler altında zayıf dayanım göstermektedir. Bunun sebebi şudur: Yığma yapılarda yük aktarımı, kullanılan malzeme ve harç arasında olmaktadır. Kırsal bölgelerimizde gördüğümüz yığma taş yapılar taşın ile harç bir araya getirilerek yapıldıklarından, taşıyıcı sistem itibariyle süreklilik oluşturmazlar (Koç, 2016, s.38) Doğu Anadolu'da depremden zarar gören yapıların büyük çoğunluğunun civardaki dere yataklarında toplanan, yüzeyleri aşınarak yuvarlanmış taşların çamurla birbirine bağlanmasıyla yapılar olduğu bildirilmektedir. Yapıda moloz taşların kullanılması halinde ise, taşların arasındaki çamurlar – ıslak iken bağlayıcı özellik göstermesine mukabil- kuruyunca bağlayıcılığını kaybeder (Koç, 2016, s. 48).

Binalarda taş malzeme yığma yapının bodrum ve temel duvarlarında kullanılmalı ve topraktan su çekebileceğinden bodrum kat dış duvarları taştan yapılmalıdır (Koç, 2016, s. 48). Taş malzeme, bodrumun serin kalmasını sağlar. Taş malzemenin binaların günlük kullanım mekânlarında sağladığı yazın serin-kışın ılık ortam ile yeterli termal konfor sağladığı, taş binada ikamet edenler tarafından bilinen ve ifade edilen bir husustur.

3.1.12. Hammaddenin tedarik edilebilirlik, malzemenin üretim ve uygulama potansiyeli

Taşın kırsal bölgelerde doğadan-yöredden masrafsız veya çok düşük bir masrafla toplanabilmesi dolayısıyla binayı inşa edenin malzeme temin etmesini kolaylaştırır. Taş ocaklarında ise ocaktan çıkarılan taşın görece basit tekniklerle kırılmasıyla elde edilen farklı boyutlardaki taş malzemenin teknik-seri üretime imkân verdiği söylenebilir. Üretim esnasında ortaya çıkan daha küçük boyutlu taşlar da değerlendirilebildiği için taş neredeyse hiç fire vermeden kullanılabilen bir malzeme olmaktadır. Taşın tam kapasite kullanımı, yapay taş benzeri malzemelerin daha az kullanılmasını sağlayacak ve dolayısıyla doğa ve çevreyi korumada etkili olacaktır. Taşın şantiyede veya inşaat alanında binadaki yerine konulmasına kadar kol gücü yeterli olmakla birlikte motorlu makine gücünden de yararlanılabilir. Fakat her halükârda aplikasyon konusunda önemli bir kısıtlayıcı faktör veya zorlukla karşılaşılmaz.

3.1.13. Yapı yaşam döngüsü

Taşın, ocaktan hammadde olarak çıkarılması, yapı malzemesi haline getirilmesi, inşaat alanına nakledilmesi, yapıdaki yerine konmasına kadar geçen süreçte harcanan enerjinin (gömülü enerji) alternatiflerine (kerpiç ve ahşap) göre daha fazla olduğu söylenebilir. Taşın, alternatiflerini etkileyen yağış, yangın ve biyotik etmenlerden zarar görmediği için kullanım ömrü de onlarla mukayese edilmeyecek kadar uzun olabilmektedir. Uzun ömrü dolayısıyla kullanım sonu yıkım ve enkaz kaldırma konusu ihmal edilebilir veya dikkate alınmayabilir.

Bakım- onarım- yenileme kolaylığı vardır, ancak alternatiflerine göre daha masraflıdır.

3.2. Toprak Yapı Malzemelerinin Sürdürülebilirlik Analizine Ait Bulgular

Bu başlık altında toprak menşeli bir malzeme olan kerpiç ile “Alker”adı verilen alçı katkılı kerpiç (Kafescioğlu, 2017, s.190) birlikte ele alınmıştır.

Geçmişte yapı inşa etmede kullanılan malzemelere baktığımızda, tedarik etme kolaylığı ve doğaya uyumda öne çıkan malzemelerin başında toprağın geldiği görülmektedir (Olğun ve ark, 2019, s.711). Toprak, ucuz, çevre dostu ve bol bulunan bir yapı malzemesi olarak dünya genelinde inşaatlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Revuelta-Acosta ve ark. 2010, s. 2212). Toprak ve kerpicin yaygın bir yapı malzemesi olarak kullanılışı, bugün bile ayakta kalan oldukça yaşlı çok sayıda eski toprak binada kendini ispatlamış bulunan dayanıklılığına bağlanabilir (Revuelta-Acosta ve ark. 2010, s. 2213).

3.2.1. Tabiata uyum

Yerel kaynaklardan temin edilen toprak ve kerpiç ile topografya, jeomorfolojiye ve arazi normuna ve geleneksel yerleşimlerin yakınlarında yapılacaksa mimari normuna uyumlu yapılar inşa etmek mümkündür.

3.2.2. Atmosfere ve hava kalitesine etki

Toprak doğal bir unsur olduğu için doğayı kirletmez. İç mekânda insan sağlığına verdiği yaygın bir zararı kaydedilmemiştir. Ancak kullanmaya karar vermeden önce, kerpicin hammaddesi olan kilin içerisinde radyasyona sebep olacak maddelerin olmadığından emin olunmalıdır.

3.2.3. İç mekân hava kalitesine katkı

Nefes alan bir malzeme olduğu için iç mekânda havanın ağırlaşmasına yol açmaz. Mekânda nem arttığı zaman nemi bünyesine çekerek, hava kuruduğu zaman da ortam nem salarak ortamın nemini dengeler.

3.2.4. Yenilenemez doğal kaynakları koruma, enerjiden tasarruf ve küresel ısınmayı önleme

Toprak yapı inşa etmede kullanılan birçok yapı tekniği olduğu gibi hiçbir dış enerji gerektirmeden, elektrige dahi ihtiyaç duyulmadan inşa edilebilecek kerpiç yapı teknikleri de bulunmaktadır (Bozyel, 2021, s. 112). Bilimsel çalışmalar, kerpicin beton binaya kıyasla binada termal kararlılık sağlayan düşük ısı iletkenliğine ve yüksek ısı kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir (Revuelta-Acosta ve ark. 2010, s. 2213). Kerpiç yalıtım görevi de üstlendiği için mekânın ısıtılması için gereken enerji sarfiyatı düşüktür. Kerpiç bloklarla yapılan binalar, malzemenin bu yüksek yalıtım kapasitesi sayesinde kuru sıcak ve soğuk bölgelerde ısınma için gereken enerjinin miktarı düşük tutulabilmektedir. Bu sebeple kerpiç evde yakıt masrafı azdır.

Yapılarda kullanılan toprak ve kerpiç karbon emisyonunun azalmasına ve küresel ısınmanın önlenmesine katkıda bulunur. Bu yönüyle, ikimi değişikliğine karşı koyuma potansiyeli olan bir malzeme sayılmaktadır.

3.2.5. Peyzaj-topografya- toprak ve su kaynaklarına etki

Kerpiç üretiminin toprak ve su kaynaklarına zarar verici veya kirletici etkisi yoktur. Kerpiç, üretim aşamasında arazi fizyografisini değiştiren, toprak tabakasına ve toprağın niteliğine zarar veren herhangi bir etkide bulunmaz.

3.2.6. Çevreye zararlı atık- gaz ve partikül yayma

Kerpiç katı atık üretmez. Eskiyen-dökülen-görevini tamamlayan kerpiç yine alındığı yere temiz olarak dönebilecek saflıktadır. Yapısında sözgelimi SO₂ gibi zararlı bir gazın oluşumuna ve atmosferde kirlenmeye yol açacak bir gaz bulunmaz. Sera gazı oluşumuna negatif, karbon emisyonunun azalmasına pozitif katkıda bulunur. Kerpicin hammaddesi olan killi toprak eğer kirlenmediyse ağır metal ihtiva etmez. Ancak oluştuğu kayacın cinsine bağlı olarak radyoaktivite gösterebilir. Buna rağmen bu risk oldukça düşük ve radyoaktif etkisinin gözlemlendiği vakalar son derece az sayıdadır.

3.2.7. Hammadde tedariki ve malzemenin dönüşüm kapasitesi

Toprak her yerde bulunabilen bir kaynak olduğu ve yeterince kil ihtiva eden her toprak kerpiç yapımında kullanılabilirdiği ve için hammadde kaynağı konusunda sıkıntısı çekilmez. Kerpiç Anadolu’da ve tüm dünyada binlerce yıldır kullanılmaktadır. Konya’da Çatalhöyük kazılarında 7700 yıllık kerpiç evler bulunmuştur (URL-2) Kerpiç, Ülkemizde geleneksel bir malzeme olarak binalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Olğun ve ark, 2019, s. 708). Hâlihazırda dünya nüfusunun 1/3’ i kerpiç evlerde yaşamaktadır. Ülkemizin kırsal bölgelerinde ise yapıların ¼’i kerpiçtendir. Kerpicin geri dönüşüm kabiliyeti emsalsizdir. Yeniden defalarca kullanılabilir olması ona ekonomik sürdürülebilirlik kazandırmaktadır. Yapı malzemesi olarak kullanılmadığı zaman yeniden tarla ve bahçeye serilip toprak olarak kullanılır. Yıkılan 60-70 yıllık kerpiç duvarlardan çıkan kerpiçleri çiftçilerin –tarım ilaçlarıyla kirlenmiş- tarlalarına kirlenmemiş /saf toprak katma niyetiyle taşıyıp döktükleri gözlenmiştir. Bu işe geri dönüşüm ve ekolojik sürdürülebilirliğin mükemmel bir örneğini teşkil etmektedir.

3.2.8. Biyoçeşitlilik ve bitki örtüsüne etki

Kerpiç ve toprak malzemenin biyoçeşitliliği, habitat çeşitliliğini ve bitki örtüsünü koruması doğrudan bir etki değil, ancak kerpicin doğal dengenin devamına katkısı dolayısıyla ortaya çıkan bir etkidir. Esasen, kurutulmuş, balçıktan ibaret olan kerpiç, killi toprağa bir miktar saman veya diğer katkı maddeleri karıştırıldıktan sonra su ile yoğrulmuş kalıplara dökülüp açık havada kurutulmasıyla elde edilen (URL-2) topraktan ibarettir. Toprak ise karasal bütün bitki ve hayvan türlerinin yaşama ortamı unsurlarının başında gelir. Bu yönüyle kerpicin doğaya uyumu tam, bitki örtüsü ve faunaya verdiği destek yerli yerince, yani tabiatta olduğu gibidir. Bitki ve hayvan, kerpicin toprak olarak algılar, ona toprağa davrandığı gibi davranır. Karşılığında da zararlı herhangi bir tepki

görmez. Kerpiç ve toprak malzemeye rağbetin artması orman kaynakları üzerindeki baskıyı azaltacağı için orman örtüsünün artması lehinde etkide bulunur.

3.2.9. Kirlilik kaynakları ve kirleticiler

Kerpiç; herhangi bir kirlilik kaynağı oluşturmadığı gibi, bilakis iç mekânda gürültü ve koku kirliliğini önleyici veya etkisini azaltıcı rol oynar. Yapılı çevrede planlı olarak inşa edilmiş kerpiç yapı topluluğu görsel kirliliğe yol açmadığı gibi yerleşime görsel anlamda avantaj sağlar. Çünkü kerpiç yapılar bazı betonarme yapılarda görüldüğü gibi insan üzerinde psikolojik -görsel olumsuz etki yapmaz. Hatta kerpicing ve kerpiç sıvası ile sıvanmış binaların kendilerine has estetiği olan güzel bir görünüşleri vardır (Olğun ve ark, 2019, s.718).

3.2.10. Sosyolojik uyum

Kerpiç, ülkemizde ve Dünya genelinde insanların barınma ihtiyaçların neredeyse ekonomik sistemden bağımsız olarak karşılayabildikleri bir malzemedir. Her ülke ve her kültüre göre şekil alan ve farklı bölgelerin sosyokültürel ihtiyaçlarına cevap veren uyum kabiliyeti olan malzemedir. Malzemenin sağlıklı ortam oluşturma kapasitesi ve kullanıcı sağlığını koruma özelliği vardır.

3.2.11. İşçi sağlığı, yapı güvenliği, dayanım ve konfor

Kerpiç evler yazın serin, kışın ılık bir ortam sağlayarak ekonomiye ve insan sağlığına hizmet eden ve keza üretimi diğer yapı malzemelerine oranla daha az masrafla gerçekleşen ve ülkemizin çoğu bölgesi ve iklim şartlarına uygun (Yakup 2002), toplumdan her kesimin barınma ihtiyacını karşılayabilecek ekolojik yapılardır. Düzenli geliri olmayanlar veya dar gelirliler kerpici kendileri üretebileceği için ekonomik sürdürülebilirliği vardır. Hatta ekonomik sistemin dışında yürütülecek bir aktivite karakterinde görülen ve ekonomik kısıtlardan bağımsız olarak bile inşa edilebileceği için kerpiç sosyal sürdürülebilirlik kriterine uygun düşmektedir. Bu durum, toprak esaslı diğer bir malzeme olan Alker için de aynen geçerlidir. Alker ısı depolama, nem alıp verme ve yalıtım özellikleri ile insan sağlığına elverişli bir ortam oluşturur.

Kerpiç yapılar sadece konut ihtiyacını karşılamak için değil, işyeri, sosyal tesis benzeri ihtiyaçlar için de yapılabilir. Özellikle yöresel toplu konut yapımına elverişlidir. Arzu edilen form verilebildiği için toplumda her kesiminden insanın zevkine hitap eden estetik tasarımlara imkân verebilir.

3.2.12. Hammaddenin tedarik edilebilirlik, malzemenin üretim ve uygulama potansiyeli

Kerpiç malzemenin hazırlanma aşaması, çalışan için herhangi bir sağlık-güvenlik sorunu içermez. Uygulama aşaması da böyledir. Kerpicing yangına dayanımı nispeten iyi olmakla birlikte, yangın geçiren kerpiç bir yapının -kerpice eşlik eden ahşap malzeme dolayısıyla- zarar görmesi halinde kerpiç elemanlarının de elden geçirilmesi gerekebilir.

Kerpiç, suya dayanmayan bir malzemedir (Tuztaşı ve Çobanoğlu, 2006, s. 103). Yağışa karşı koruyacak dıştan sıvama gibi tedbirleri almak gerekmektedir (Yakup, 2002, s.14) Olğun ve ark, 2019, s. 218). Geleneksel usullerle inşa edilmiş kerpiç yapıların uzun ömürlü olmamasında yağış sularının etkisi fazladır. Yağışa karşı korunmayan kerpicing zamanla formu da bozulmaktadır. Kerpiç yapıların ömrünü uzatmak amacıyla geliştirilen ve “Alker” adı verilen alçı katkılı kerpicing tercih sebeplerinden biri de budur (Kafescioğlu, 2017, s. 190) . Alker, geleneksel kerpice göre suya dayanıklılığı daha fazla ve dolayısıyla ömrü daha uzun olan bir malzemedir. (Yakup 2002, s.22).

Ülkemizin heyelan riski olan bölgeleri aynı zamanda yağışın da bol olduğu bölgelerdir. Bu bölgelerde kerpiç tercih edilemez. Bu sebeple kerpiç binanın sel ve heyelana dayanıklı bina oluşturma kapasitesi değerlendirmek anlamlı değildir. Hem iktisadi bakımından ucuz, hem de kışın sıcak tuttuğu için tercih edilen kerpiç evlerde kışlar gayet sıcak ve buna karşın yazlar tam da arzu edildiği gibi serin geçer. İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi tarafından 1995 yılında bir örnek olmak üzere inşa edilmiş olan kerpiç ev, 1999 Marmara depremini ve irili ufaklı birçok depremi geçirmesine rağmen hala sapsağlam ayakta. Çünkü kerpicing bilgisi ve kaidesine riayet edilerek inşa edilmiştir (URL-2). Esasen basınca dayanıklı bir malzeme olan kerpiç yapıda doğru mimari tasarım ve mühendislik hesaplarıyla kullanıldığı takdirde, yapı, depreme karşı, betonarme yapılara göre daha dayanıklı olmaktadır (URL-2). Ne var ki kerpiç ve toprak binanın tavan ve çatısı için uygun bir malzeme değildir. Mesela Doğu Anadolu’ da çatı yerine toprak dam örtünün tercih edildiği yerlerde damın, üzerine her yıl eklenip sıkıştırılan toprağın ağırlığını taşıyamayıp depremde yıkıldığı görülmüştür Buna karşılık depremde hasar gördüğü halde çatısı sökülüp yenilenen, çatış sisteminde hafif çelik ve ahşap kullanılan kerpiç binaların ise ayakta kaldığı gözlenmektedir(URL-3).

Alkerle inşa edilmiş binalar, kullanım boyunca kerpice nazaran çok daha az zarar görürler. Üretimi çok kolay olup killi toprak bulunan her yörede açık alanlarda üretilebilir. Çok ucuza mal edilir. Esas itibariyle kerpicing maliyeti işçilik maliyetidir. İşletme maliyeti ise çok ucuzdur (URL-2).

Kerpiç veya sıva yapımında kullanılacak toprak yakın çevreden masrafsız veya cüzi bir masrafla çevreden tedarik edilebildiği için kullanıcıya ekonomik kolaylık sağlamaktadır. İsteyen herkesin uygulayabileceği bir malzeme üretme yöntemi olduğundan kerpiç yapmak birçok bölgemizde kırsal toplum için değerli bir yapı inşa imkânı sunmaktadır. Kerpice talebin artması halinde yapı sektörü tarafından seri olarak üretilmesi imkânı vardır.

Yapımında saman veya benzeri bitkisel maddeler katkı olarak kullanıldığında, kerpiç, az katlı yapılar için uygun bir malzeme olmaktadır. Kerpiçle yapılan binalar, malzemenin özellikleri sayesinde iyi bir yalıtım ve insan ölçeğinde sıcak mekânlar sunabilir. Toprak yapı malzemeleri, yapıların inşasında yalnız ana duvarların yapımında değil; duvarların sıvasında, taş malzeme örgüsünün sağlamlaştırılmasında ve doğrudan harç malzemesi ve bazen de tek başına bir yapı elemanı olarak kullanılmaktadır (Şimşek Tolacı ve Hümmüzlü, 2020, s. 42).

3.2.13. Yapı yaşam döngüsü

Yapılırken diğer malzemelere göre çok az enerji tüketmesi, yerinde üretildiği için nakliye masrafının olmaması dolayısıyla gömülü enerjisi çok düşüktür. Bu özelliği yanı sıra iyi bir yalıtkan olup ısıtma ve soğutmada az enerjiye ihtiyaç duyması, ahşapla kombine kullanıldığında ahşabı koruması, kerpicing ekonomik avantajlarından (URL-2).

Kerpicing yapılacağı toprağın kazılıp alınması, yapı yerine taşınması ve kullanımı sırasında harcanan enerji ahşaba ve taşa göre daha azdır. Buna göre ekolojik yapı malzemeleri kategorisinde gömülü enerji bakımından orta seviyede olduğu söylenebilir Malzeme olarak biyotik zararlılara dayanıklı, suya dayanıksızdır. Suya dayanım, alçı katılarak (Alker) arttırılabilir. Bakım-onarım-yenilenme kolaylığı vardır. Kullanım sonu yıkımı kolaydır. Enkaz kaldırma konusunda zorluk arz etmez. Kaldırılan enkaz, bulunduğu yerde ayrışıp doğaya döner. Bu sayılan özellikler yapı yaşam döngüsü bakımından kerpicing yapı malzemesi olarak uygunluğunu ifade eder.

3.3 Ahşabın Sürdürülebilirlik Analizine Ait Bulgular

Bu başlık altında ahşap; yapı malzemesi olarak ele alınıp irdelenmiş, ahşabın önemi ve önemli kullanım özelliklerine dikkat çekildikten sonra sürdürülebilirliği analiz edilmiştir. Bu bölümde ahşap malzeme ile masif ahşap kastedilmiştir. Sanayi ürünü olan ve bünyesine kimyasal maddeler giren yapay ahşap malzemelerin ise ürünün cinsine göre ayrı ayrı, ürün bazında ele alınması gerekmektedir.

Ahşap, kadim bir yapı malzemesidir. Doğal olması, kolaylıkla elde edilebilmesi, çekme gerilmelerini karşılayabilmesi, taşıma gücünün ağırlığına göre yüksek olması gibi çeşitli avantajları ile ahşap emsallerinden ayrılmaktadır. Ahşap, doğadaki organik karakterde olup da kendisini yenileyebilen tek yapı malzemesidir. Masif ahşabın insan sağlığına herhangi bir zararlı etkisi olmadığı halde odun kaynaklı sınai ürünlerin imalinde kullanılan kimyasal katkı maddeleri sebebiyle yapay ahşap sağlığa zararlı olabilir. Mesela ahşap yonga levha insanda deri alerjilerine, böbrek hastalıklarına sebebiyet veren formaldehit gazı açığa çıkarmaktadır (Ergenç, 2007, s. 45) Doğal- organik -geri kazanımlı- yenilenebilir olması, çevre üzerinde olumsuz etkide bulunmaması, ahşabın avantajlarından (Berber, 2012, s.57). Ekoloji ve malzeme birlikte düşünülecek olursa, ekolojik tasarım kriterleri ile birebir uyuşan malzemelerin başında ahşap gelir. Mesela geleneksel yapım teknikleriyle bina edilen konutlarda ahşap bir konstrüksiyon ile desteklenip üzeri örtü malzemesi ile kaplanan ahşap çatıların, çevre şartlarına karşı performans kriterlerini karşıladığı görülmüştür (Kutlu ve Ergün, 2020, s.107).

3.3.1.Tabiata uyum

Ahşabın kaynağı orman ağaçlarıdır ve ahşap bu hammadde kaynağının karakteri itibarıyla üstün bir yapı malzemesidir. Zira ahşabın kaynağı olan ormanlar, yetiştirilip kesilerek devamlı olarak yapı malzemesi sağlayabilen ve bu zaman zarfında kendini yenileyen yegâne doğal kaynaktır. İnsanlar her dönemde -bu kaynağa ulaşabildikleri sürece- orman ağaçlarından ahşap elde etmeye çalışmış ve bu malzemeyi evlerinde veya diğer ihtiyaçlarını karşılamada kullanagelmiştir (Sayar ve ark 2009, s. 2068). Mesela, ağaç gövdelerinin üst üste getirilmesiyle oluşturulmuş ahşap yığma sistemler, ahşabın kolayca ve ucuza bulunduğu her coğrafyada kullanılmıştır. Ahşap yapı görünüm itibarıyla doğal ve tabiat ile uyumlu bir malzemedir. Hangi formda ve büyüklükte yapılmış olursa olsun gözü rahatsız edici bir tablo sergilemez. Ahşap, taştan sonra doğadaki haline en yakın kullanılan malzemedir.

3.3.2. Atmosfere ve hava kalitesine etki

Ağaç yaşadığı sürece karbon depolayıp oksijen ürettiği için ahşap malzemenin kaynağı olan ormanların hava kalitesine katkısı dolayısıyla hiçbir malzeme bu konuda ahşapla yarışamaz. Kullanılan her parça ahşap, karbon emisyonunun düşmesine kendi çapında katkıda bulunmaktadır.

3.3.3. İç mekân hava kalitesine katkı

Ahşap yapı elemanları hiçbir zararlı gaz içermez buna karşılık binanın nefes almasına imkân verdiği için yoğunlaşmayı önler (Gezer, 2013, s. 24). Bu, mekânda bir çeşit doğal havalandırma etkisi yapmaktadır. Bu sebeple ahşap bir binada iç mekân, kullanıcıya ferahlık verir.

Ağacın karbonu depolaması, ahşap kullanıldığında yerleşimlerde karbon ayak izinin küçük, iklim değişikliğine karşı koruyucu bir kalkının oluşması demektir.

3.3.4. Yenilenemez doğal kaynakları koruma, enerjiden tasarruf ve küresel ısınmayı önleme

Ahşap, alternatiflerine göre, imali için en az enerji harcanan yapı malzemesidir Yapımında az enerji tüketilir. Ağacın kesilip işlenmesine harcanan enerji, alternatif malzemelerin üretimi imalinde harcanandan çok daha azdır (Gezer, 2013, s.25). Nakliye ve aplikasyon/montajı da kolaydır. Dolayısıyla gömülü enerjisi düşüktür. Yalıtımı iyi olduğu için enerji verimi de yüksektir. Isıtma ve havalandırmaya harcanan enerjiden tasarruf sağlar. Binalarda karbon ayak izini düşürmeye hizmet ederek iklim değişikliğine karşı korumaktadır.

3.3.5. Peyzaj-topografya- toprak ve su kaynaklarına etki

Ahşap kullanımının arazinin peyzaj, topografya toprak ve su kaynakları üzerinde olumsuz herhangi bir etkisi yoktur. Bilakis ahşaba kaynaklık eden orman, toprağın ve su kaynaklarının da korunmasına hizmet eder. Orman ağaçlarının peyzaj değeri yüksek alanlar oluşturduğu gibi ağaç malzemedeki yapılmış yapılar da kendilerine özgü görünüşleriyle estetik değer sunarlar.

3.3.6. Çevreye zararlı atık- gaz ve partikül yayma

Ahşap zararlı bir katı atık oluşturmaz. Üretim sırasında çıkan talaş, yonga gibi atıkları, yonga levha gibi yapay ahşap ürünlerin imalatında kullanılır. Üretim sırasında atmosferi kirletecek bir gaz çıkışı yoktur. Gerek üretim ve gerekse kullanım sırasında uçucu organik bileşik gibi herhangi bir zararlı gaz ve radyasyon yaymaz. Bu durumda ahşabın çevreye zararlı herhangi bir atık gaz veya katı zerre (partikül) yayma özelliği yoktur. Bu özellikleri dolayısıyla sera gazlarının azaltılmasını sağlayacak en kullanışla yapı malzemesi olarak öne çıkar.

3.3.7. Hammadde tedariki ve malzemenin dönüşüm kapasitesi

Ahşap, orman örtüsünün olduğu her yerde ve Ülkemizde ise Devlet Orman İşletmelerinin kesilen orman emvalini (odun ve tomrukları) depoladıkları her yörede yerel kaynaklardan tedarik edilebilir. Ahşap geri dönüşümü kolay bir malzemedir. Yeniden kullanım kapasitesi çok yüksektir. Tekrar- tekrar kullanılabilir. Eskiyen-kırılan-düşen bir ahşap eleman boyutları biraz küçültülerek veya birbirine eklenerek büyütme suretiyle yapının bir başka yerinde veya başka bir yapıda kolayca kullanılabilir. Bu kullanım şekli ahşap çürüyüncüye kadar sürdürülebilir. Nihayet yakacak olarak kullanılan ve açığa çürümeye terk edilip toprağa karışması sağlanan ahşap böylece sonuna kadar dönüşüm kabiliyeti arz eder.

3.3.8. Biyoçeşitlilik ve bitki örtüsüne etki

Ahşabın bitki örtüsünü koruma etkisi, daha ziyade dolaylı yoldan olmaktadır. Yapı malzemesi olarak ahşaba talebin artması, orman kaynakları üzerin belli bir yük getirir. Ancak sanılanın aksine bu durum ormanların azalmasına değil artmasına yol açar. Çünkü ormanın pek çok ürünlerinden biri olan odun hammaddesine olan talep, bu hammaddenin piyasa değerini artırır. Artan talep, bunu karşılamak üzere arzın da artmasını gerektirdiğinden, kazandıran orman ürünlerini üreten ormanlara daha çok yatırım yapılır. Bu ise mevcut ormanların daha bakımlı bulundurulması, artan ürün ihtiyacını karşılamak üzere yeni ormanların kurulması yani mevcut orman alanlarının artması sonucunu doğurur. Böylece mevcut orman örtüsü de gelişmiş olur. Orman sadece orman ağaçlarından ibaret olmadığı, farklı pek çok türden bitkiye ve hayvan türüne de ev sahipliği yaptığı için ahşap kullanmanın orman örtüsü miktar ve yoğunluğunu artırma ve bu arada biyolojik çeşitliliği (flora-fauna çeşitliliğini) ve canlıların yaşama alanlarını (habitlatları) koruma ve geliştirme potansiyeli bulunmaktadır.

Ahşap kullanmanın canlılar üzerindeki doğrudan etkisi, yuvalanmak için ahşap binaların cephe ve çatı elemanları arasındaki boşlukları kullanan bazı kuş türlerine yuva yeri sağlamak şeklindedir. Yani ahşap yapı bazı türler için özel habitatlar sunmaktadır, denilebilir.

3.3.9. Kirlilik kaynakları ve kirleticiler

Masif ahşap ne üretimi ve ne de kullanım sırasında çevreyi kirletmez. Lif levha ve yonga levha benzeri ürünlerin imalatı sanayi tesislerinde olduğundan hava kirliliğine sebep olabilir. Bu konuda en vahim tehlike, bu ürünlerin imalatı sırasında çıkan parçaların yine aynı tesisin fırınlarında ısıtma- presleme işlemi sırasında yakılmasıdır. Çünkü bu mamullerde tutkal görevi yapan formaldehit gibi sağlığa zararlı maddeler yandığında daha tehlikeli bileşikler haline gelerek gaz olup havaya karışır. Ahşap binanın radyoaktif kirliliği yoktur. Bina yıkım ve enkaz kaldırma sırasında çevreye zararlı atık- gaz ve partikül yaymamaktadır.

3.3.10. Sosyolojik uyum

Orman kaynaklarının bulunduğu her bölgede, ahşap yapı, maliyet olarak alternatifleriyle rekabet edebilir ve insanların barınma ihtiyacını ekonomik olarak karşılayabilir. Ancak ahşabın hangi uygulama şartlarında ekonomik sonuçlar verdiğine dair net bilgi bulunmamaktadır. Literatürde çeşitli çalışmalar olsa da bu çalışmalar köprüler üzerine odaklı olup kısıtlıdır (Çelik ve Şakar, 2022, s. 303). Ahşabın farklı bölgelerin sosyal dokusuna uyum kabiliyeti vardır. Eğitim-kültürel etkinlik gibi sosyal ihtiyaçlara uygun yapılar oluşturma potansiyeli mevcuttur. Sağlıklı ortamlar oluşturarak kullanıcı sağlığını korur.

3.3.11. İşçi sağlığı, yapı güvenliği, dayanım ve konfor

Ahşap yapı sistemleri genel itibariyle depreme dayanıklıdır. (Berber, 2012, s. 57). Ahşap; karma sistemler için de uygundur (Gezer, 2013, s. 25). Ahşap yapıların sağlamlık, hafiflik ve esneklik özellikleri ile deprem bölgeleri için en uygun çözümler olduğu ve depreme en dayanıklı konut tipinin kalın kontrplak ile kaplanmış alçak ahşap yapılarıdır bildirilmektedir (Brancaccio, 2017, s. 61) Bilindiği gibi bir bina ne kadar hafifse üzerinde yayılan deprem kuvvetinin etkisi o kadar azdır Ahşap ise hafiftir. Ayrıca yapı iskeletine çok sayıda eleman ve çivili birleşme yeri ile bağlandığından kuvvetleri emen çok sayıda yük yolu vardır. Mesela ahşap yapıda kullanılan çivili birleşme yerleri depremin enerjisini dağıtmaya yardım ederler. Böylece ahşap şok şeklinde gelen deprem yükünü emer sönümler, bir kısmını da iletir savuşturur. Mühendislik hesabı yapılmış çatı makasları, Ülkemiz için deprem bölgelerindeki yapılarda depreme karşı son derece önemli bir koruyucu tedbir olarak görülmektedir.

Masif ahşap yanabilen bir malzemedir. Ancak yanma sırasında gelişen ve belli çaptaki ahşap elemanların yangına dayanıklılığını sağlayan cazlama özelliği sayesinde binayı uzun süre yıkılmaktan koruyarak içindekileri kaçış ve eşya tahliye fırsatı sunar. Ayrıca asit ve duman, gaz etkilerine karşı da son derece dayanıklıdır (Berber, 2012, s. 57).

Ahşap, heyelan mntıklarında heyelanın tesirini ve hızını arttıran ağır binaya karşılık binaya hafiflik kazandırarak heyelana dayanıklı bina oluşturmaya hizmet eder. Ahşap kerpiç kadar olmasa da sudan ve selden zarar görebilir. Ahşap, nefes alıp yoğunlaşmayı önlediği ve nemli iklimlerde yapının nem dengesini kontrolde tutabildiği için kullanıcıya ferahlık sağlar (Gezer, 2013, s.25). Ses ve ısı yalıtımı iyidir (Berber, 2012, s. 57). Özellikle ısıl iletkenlik katsayısı çok düşüktür. Bu sebeple yapıda ısı yalıtım elemanı olarak da kullanılır). Ahşabın bu ısı yalıtkan karakteri ve görünümü itibariyle de insan sıcak gelen bir malzeme olması kullanıcıya termal konforu olan sıcak mekânlar sağlamaya yetmektedir.

3.3.12. Hammaddenin tedarik edilebilirlik, malzemenin üretim ve uygulama potansiyeli

Ahşap, Doğadan kolayca elde edilebilen biyolojik bir malzemedir. Kolay imal edilir; el işçiliğine elverişli; kolay onarılabilir. Ahşap, kullanımı bakımından da esnek olup çok çeşitli uygulamalara imkân vermektedir. Her kullanım için boyutu ayarlanabildiği için her kullanıma adaptasyonu uygundur (Gezer, 2013). Hızlı yapım tekniği sağlar. Günümüzün teknolojik imkânları ile homojen bir malzeme haline getirilebilmektedir. Böylece yapıda kullanmaya uygun ölçülerde imal edilen ahşap ürünler masif ahşaptan daha geniş kullanım esnekliği sahip ekonomik malzemeler olarak sektördeki yeri almıştır (Berber, 2012, s. 58). Ahşap uygun teknikte elde edilir ve uygun tarza kullanılırsa imalatından son kullanım yerine kadar çok az fireyle, hatta hiç fire vermeden gider. İşlenirken çıkan talaş, yonga gibi materyal, yine ahşap levha üretiminde kullanılır. Böylece suni materyale fazla ihtiyaç bırakmadığı için üründe sentetik katkı oranını ve piyasada yapma ürün kullanımı azaltır.

Ahşap yığma duvarlardan kütük yığma duvar, en basit yığma duvar olup ormandan kesilen ağaçları birbiri üzerine yığmak suretiyle yapılır (Ergenç, 2017, s. 33). Bu sayılanların hepsi ekonomik sürdürülebilir kullanımlardır. Bunlarda ahşap yığma duvarlar malzemenin bolca kullanılması dolayısıyla ilk bakışta ekonomik değilmiş gibi görünse de binanın uzun kullanım ömrü dikkate alındığında bu sistemin de ekonomik olduğu görülür. Montaj işçiliğinin kolay ve ekonomik olması da tercih edilme sebebidir. Ülkemizde daha yaygın olan ahşap karkas sistemler ise (Berber, 2012, s. 58) yığma sistemlere göre ahşabın daha ekonomik olarak kullanılmasını sağlamaktadır.

3.3.13. Yapı yaşam döngüsü

Ahşap gömülü enerjini düşüklüğü bakımından da tercih edilebilecek bir malzemedir. Çünkü malzemenin üretim-nakil ve aplikasyonu alternatiflerine göre hayli az enerjiyle yapılabilmektedir İşçiliği kolay olup ileri teknoloji ve fazla enerji gerektirmez. Ahşap doğal haliyle dış hava hallerine taş gibi dayanıklı değildir. Açık hava şartlarında çok uzun süre dayanamaz (Berber, 2012, s. 57).

Ahşap malzeme, dış yüzü su geçirmediği sürece yağıştan etkilenmez. Yangına ve mantar-böcek gibi biyotik zararlılar karşı dayanıklı olmaması ahşabın dezavantajıdır. Ancak, suda bekletme, kurutma, fırınlama boyama ve emprenye gibi koruyucu tekniklerle biyotik zararlar önlenerek ahşabın kullanım ömrü en az 10 kat daha uzatılmaktadır. Doğal yoldan da dayanıklılığına arttırmak mümkündür. Tarihi yapılarda gördüğümüz 700 yaşını geçmiş ahşap elemanlar, yılın hasada uygun özel günlerinde kesilen ağaçlardan ve suda bekletme gibi doğal tekniklerle dayanıklı hale getirilen tomruklarda elde edildikleri için dayanımları yüksek, ömürleri uzun olmuştur.

Ahşap bakım- onarım-yenileme kolaylığına sahip bir malzemedir. Hasarlı elemanların yenilenmesi, tamir ve bakımı kolaydır (Gezer, 2013, s. 24). Ekolojik mimarinin temel yaklaşımlarından biri olan eski yapıların yenilenerek kullanılmasına çok elverişli bir malzemedir. Kullanımı sona erip yıkım aşamasına gelen ahşap yapının yıkımı ve kaldırılması alternatiflerin göre çok daha kolaydır.

Tablo 2. Taş kerpiç ve ahşabın sürdürülebilirlik parametreleri ve sürdürülebilir mimarlık kriterlerine göre değerlendirilmesi (Table 2. Evaluation of stone- adobe and wood according to sustainability parameters and sustainable architecture criteria)

| Mimari Sürdürülebilirliğin Boyut- Kategori ve Göstergeleri | | | | | Malzemenin göstergeye cevabı | | |
|--|--|-----------------------|-----------------------------------|--|------------------------------|--------|-------|
| Boyut | Kategori | Kat no | Alt kategori | Gösterge | Taş | Toprak | Ahşap |
| EKOLOJİK (Tabiata uyum- doğal kaynakları koruma) | Tabiata uyum | 1 | Topografya ve jeomorfolojiye uyum | Arazi normuna uyum | + | + | + |
| | | | Yapılı çevredeki davranışı | Pasif güneşlenmeye uygunluğu | - | +/- | + |
| | | | | Hava akımlarına yol vermesi | 0 | + | + |
| | Atmosfere ve hava kalitesine etki | 2 | Havada kirliliğinden koruma | Hava kirliliğinden koruma ve kirliliği engelleme potansiyeli | + | + | + |
| | | | Hava Kirlenici gazları azaltma | SO2 partikül miktarını azaltma potansiyeli | | | |
| | | | | CO2 emisyonunu/ partikül miktarını azaltma potansiyeli | + | + | + |
| | İç mekân hava kalitesine katkı | 3 | Havadar iç mekân | Yapı eleman ve bileşenlerinin yapının nefes almasına katkısı | | + | + |
| | | | | Doğal havalandırma sağlaması | | 0 | 0 |
| | | | Radon korunaklı iç mekân | Radon gazı yayılımı önleme ve azalmasına katkı | | + | + |
| | Yenilenemez doğal kaynakları koruma, enerji tasarrufu ve küresel ısınmayı önleme | 4 | Enerji sarfiyatını azaltma | Gömülü enerji miktarının az oluşu | +/- | + | + |
| | | | | Isıtma havalandırma için harcanan enerjiden tasarruf | + | + | + |
| | | | İklim değişikliği | İklim değişikliğine karşı koyma potansiyeli | + | + | + |
| Peyzaj-topografa- toprak | 5 | Arazi yapısını koruma | Arazi yüzü şeklini koruma | + | + | + | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|---------------------------|---|--|-----|-----------|---|---|---|---|
| | ve su kaynaklarına etki | | Toprağı koruma | Toprak stoklarını koruması | 0 | +/- | 0 | | | | |
| | | | | Toprak kitlesinde /miktarında kayba yol açmayışı | + | + | + | | | | |
| | | | | Toprağı kirletmeyişı | + | + | + | | | | |
| | Su kaynaklarını koruma | | | Malzeme imalinde minimum su tüketimi ve su kaynaklarını kirletmeyişı | + | + | + | | | | |
| | | | | | Çevreye zararlı atık- gaz ve partikül yayma | 6 | Katı atık | Malzemenin zararlı katı atık üretmeme veya potansiyel atıklarda azalma sağlaması | + | + | + |
| | | | | | | | Gaz atık | Malzemenin 0 veya minimum uçucu organik bileşik içermesi, sera gazı oluşturmaması | + | + | + |
| | Radyoaktivite | Malzemenin ağır metal ve radyoaktif element içermemesi | +/- | +/- | + | | | | | | |
| | Hammadde tedariki ve malzemenin dönüşüm kapasitesi | | 7 | Hammadde kaynağı | Hammaddenin yerel kaynaklardan tedarik edilebilirliği | + | + | + | | | |
| | | | | Geri dönüşüm ve yeniden kullanım | Malzemenin yüksek geri dönüşüm kapasitesi | + | + | + | | | |
| | | | | | Malzemenin yüksek yeniden kullanım kapasitesi | + | + | | | | |
| | Biyçeşitlilik ve bitki örtüsüne etki | | 8 | Biyolojik çeşitliliği ve habitatları koruma | Bitki örtüsünü ve bitki tür çeşitliliğini korumaya katkı | + | + | + | | | |
| | | | | | Fauna çeşitliliğini koruma | + | + | + | | | |
| | | | | | Habitat çeşitliliğini korumaya katkı | + | + | + | | | |
| | | | | Orman örtüsündeki değişim | Orman örtüsü miktar ve yoğunluğunu artırma potansiyel | 0 | 0 | + | | | |
| | Kirlilik kaynakları ve kirleticiler | | 9 | Hava kirliliği | Hava kirliliğinden koruma | +/- | +/- | +/- | | | |
| | | | | Görsel kirlilik | Görsel kirlilikten koruması | | | | | | |
| | | | | Gürültü kirliliği | Gürültü kirliliğini önleme kapasitesi | + | + | + | | | |
| | | | | Koku kirliliği | Ortamdaki kokuların emilimini sağlaması | 0 | + | + | | | |
| | | | | Radyoaktif kirlilik | Radyasyondan korunma | +/- | +/- | 0 | | | |
| | | | | Bina kullanımı sonu/yıkım aşaması | Bina yıkım ve enkaz kaldırma sırasında çevreye zararlı atık- gaz ve partikül yaymaması | + | + | + | | | |
| SOSYAL (Toplum ve Kullanıcı sağlık -güvenlik -konforu) | Sosyolojik uyum | 10 | Sosyoekonomi | Malzemenin, insan toplumunun barınma ihtiyacını ekonomik olarak karşılama potansiyeli | + | + | + | | | | |
| | | | Sosyokültür | Malzemenin farklı bölgelerin sosyal dokusuna uyum kabiliyeti | + | + | + | | | | |
| | | | | Eğitim-kültürel etkinlik gibi sosyal ihtiyaçlara uygun yapılar oluşturma potansiyeli | + | + | + | | | | |
| | | | İnsan sağlığı | Malzemenin sağlıklı ortam oluşturma kapasitesi | + | + | + | | | | |
| | Kullanıcı sağlığını koruma | | | | | | | | | | |
| | İşçi sağlığı, yapı güvenliği dayanım ve konfor | 11 | İşçi sağlığı ve güvenliği | İşçi sağlığını koruması | 0 | + | + | | | | |
| | | | | İşçi güvenliğine elverişlilik | +/- | + | + | | | | |
| Yapı güvenliği ve dayanım | | Malzemenin depreme dayanıklı yapı oluşturma kapasitesi | + | +/- | + | | | | | | |
| | | Malzemenin yangına dayanıklılığı | + | + | - | | | | | | |
| Malzemenin heyelana dayanıklı bina | - | - | + | | | | | | | | |

| Boyut | Kategori | Kat no | Alt kategori | Gösterge | Taş | Toprak | Ahşap | |
|---|--|---|--------------------------------------|---|---|--------|-------|-----|
| E K O N O M İ K (Teknik yapılabirlik, kitle üretimine/kullanıma uygunluk ve kullanım ömrü) | | | | oluşturma kapasitesi | | | | |
| | | | | Malzemenin suya ve sele dayanıklı bina oluşturma kapasitesi | + | - | + | |
| | | | | Konfor | Malzemenin yapılarda konfor sağlama kapasitesi | | | |
| | Hammaddenin tedarik edilebilirlik, malzemenin üretim ve uygulama potansiyeli | 12 | | Malzeme hammaddesinin tedarik imkânı | Malzemenin doğadan-yöreden-ücretsiz veya ucuza tedarik imkânı | +/- | + | +/- |
| | | | | Malzemenin üretilme potansiyeli | Malzemenin teknik-seri üretime elverişliliği | | | |
| | | | | Malzemenin tasarruf | Malzemenin az fire vermesi ve daha az suni materyal kullanılmasını sağlama? | + | + | + |
| | | | | Malzeme Uygulama | Malzemenin yapıya aplikasyon/uygulanma kolaylığı | +/- | + | + |
| | Yapı yaşam döngüsü | 13 | | Gömülü enerji miktarı veya enerjiden tasarruf | Hammaddenin çıkarılması, Malzemenin üretim-nakil ve aplikasyonun az enerjiyle yapılabilmesi | - | + | + |
| | | | Malzemenin dayanımı ve kullanım ömrü | | Malzemenin yağışa dayanıklılığı | + | - | + |
| | | | | | Malzemenin yangına dayanıklılığı | + | + | + |
| | | | | | Malzemenin biyotik zararlara dayanıklılığı | + | + | - |
| | | | | | Kullanım ömrünün uzun olması | + | + | + |
| | | | | Bakım- onarım-yenileme | Bakım- onarımı-yenileme kolaylığı ve eski yapıların yenilenmesinde kullanışlılığı | +/- | + | + |
| | Yıkım ve enkaz kaldırma | Kullanım sonu yıkım ve enkaz kaldırma kolaylığı | - | +/- | + | | | |

- (+) Var, evet
 (-) Yok; hayır
 (+/-) Kısmen-şartlı evet veya duruma göre değişmekte
 (0) Nötr, etkisiz

Tablonun ilk sütununda mimari sürdürülebilirlik kriterinin karakteri verilmektedir.

4. Tartışma

Tablo 2'nin son üç sütünü, bulgular doğrultusunda doldurulduğunda taş, kerpiç ve ahşabın yine aynı tablodaki göstergeler göre sürdürülebilirlik kapasiteleri ortaya çıkmaktadır. Tablo 2 bu üç malzemenin hem bütün göstergeler karşısındaki durumun karşılaştırmalı olarak gösterdiği gibi birbirine göre ne durumda olduklarını da ortaya koymaktadır.

Karabetça (2018, s. 109)'nın, yaşamın temel prensiplerine (Baumeister, 2013, s. 125) uygun olarak geliştirip önerdiği mimari tasarım ölçütlerine göre, yapılarda enerji tasarrufunun, mekânların ekolojik verimliliğinin ve iç mekânda özellikle iklimsel ortam konforunun sağlanması gerekmektedir. Keza, yapılar çevreleri ile bir uyum içinde olmalı ve değişen şartlara adapte olabilmelidir. Bulgularımız, taş-toprak ve ahşap malzemenin kullanıldığı takdirde bir yapıda ortamın iklimik konforunun, sürdürülebilir- verimli-etkin enerji kullanımının ve sağlıklı şartların sağlanabileceğini göstermektedir. Bu malzemeler, doğal oldukları için doğaya uyum konusundaki performansları da mükemmeldir.

Ekolojik mimarlığın tasarım ilkeleri arasında yer alan; doğayla uyumlu tasarım yapmak, geri dönüşümlü malzeme kullanmak, esnek tasarım, çok amaçlı kullanılacak mekânlar tasarlamak, minimum enerji sarfiyatını sağlamak ve yenilenebilir enerji kullanmak gibi kriterlerin bu üç malzeme tarafından karşılandığı görülmektedir. Her üç malzemenin de doğal karakteri dolayısıyla doğayla uyumlu tasarımlar geliştirmeye elverişli olduğu, geri dönüşüm kapasitelerinin alternatiflerine göre çok daha fazla olduğu görülmektedir. Bu üç malzemenin ekolojik yönü ve sürdürülebilirliğinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Ekolojik tasarım ve malzeme birlikte düşünüldüğünde, ahşap emsallerine göre daha önde yer almaktadır. Ahşap; Doğadan kolay elde edilebilen biyolojik bir malzemedir. Yapımında az enerji tüketilir ve imalat sırasında çevreyi kirletmemektedir. İşlenmesi için harcanan enerji, alternatifleri olan malzemeler imal edilirken harcanandan çok daha azdır. Ahşap, alternatiflerine göre, imalat aşamasında enerji sarfiyatı düşük olan ve kerpiçten sonra ikinci sırada gelen malzemedir. Kolay üretildiği gibi tekrar- tekrar kullanılabilir. Geri

dönüşümü kolaydır. Atığı yapay ahşap imalatında kullanılır, Ahşap yapıda hasarlı elemanların yenilenmesi, tamir ve bakımı kolay olup az enerjiyle yapılabilir (Gezer, 2013. S 24). Ahşap ayrıca nefes alır, mekânda yoğunlaşmayı önler. Bütün bu özellikleri ile de mekânın ekolojik karakter kazanmasına hizmet eder. İşlenerek şekillendirilmesi kolay olduğu için (Tavşan ve ark. 2022) modüler bir malzeme olarak tasarımda ve kullanımda neredeyse istenen her değişikliğin yapılmasına elveren esnek bir malzeme olarak bilinir. Bu sayede, ahşap bir yapıda ahşap malzemeye mekândan beklenen fonksiyona uygun şekil vermek ve kullanmak mümkündür. Bu ise tasarımcıya tasarımını ekolojik tasarım prensiplerinin gerektirdiği yönde geliştirme imkânı verir.

Malzeme hammaddesi ile ilgili çok önemli bir husus da taş ve kerpicingin hammaddesi olan taş ve toprağın yeniden üretilmemesine karşılık ahşabın hammaddesi olan ağaçların üretilmesidir. Bu hususiyet ahşabı hem ekolojik hem de ekonomik sürdürülebilir bir malzeme haline getirmektedir.

Toprak ve kerpiç bütün dünyada geleneksel mimarlıkta yaygın ve önemli bir yer tutan yapı malzemesidir. Asya, Afrika'da ve Amerika'da kullanılmakta olan kerpice Avrupa'da da gün geçtikçe rağbet artmaktadır. Fransa'da kerpiçten ev yapımı çok yaygınlaşmıştır (URL-2). Teknolojideki son gelişmeler, konvansiyonel anlayışın aksine, toprak yapı malzemesinin mimaride hatırı sayılır bir malzeme olarak yeniden öne çıkabileceğini göstermektedir (Akbaş ve ark 2022, s.88).

Yapı malzemeleri; üretilirken, kullanımları boyunca ve kullanım ömrü sona erip atık haline geldiğinde belirli birtakım etkilerde bulunurlar. Malzemenin hammaddesi elde edilirken doğaya verdiği zararı, inşaat başladığında çevre üzerindeki gürültü, duman ve toz vb birçok olumsuz etkileri azalmak ve nihayet kullanılıp işi biten malzemenin atık haline gelmesi sonucu ortaya çıkan durumu yönetebilmek önemlidir. Bunlardan doğal ekolojik malzemeler kullanım ömürleri bitince çevre kirliliğine sebebiyet vermez, insan sağlığına zarar vermezler. Toprağa, suya, havaya ve faunaya olumsuz etkisi yoktur. Bu bakımlardan sürdürülebilirlikleri yüksektir (Karahana, 2017, s. 508). Keza, enerji tasarrufu sağlarlar, dayanıklıdırlar, yenilenebilirler, geri dönüştürülebilirler (Kıstır ve Kurdoğlu, 2018, s. 89).

Başta küresel ısınma olmak üzere çevre ve doğanın dengesini zorlayan birçok faktörün etkisini azaltmak için yapılarda sürdürülebilir tasarım ve çevreye zarar vermeyen malzemelerin kullanımı önem kazanmıştır. Yapılarda taş-kerpiç-ahşap gibi ekolojik malzemeleri kullanarak karbon emisyonunun azaltmak ve böylece küresel ısınmanın önlenmesine katkıda bulunmak mümkündür. Modern mimarideki sürdürülebilirlik ihtiyacını karşılamaya hizmet edecek stratejilerden biri de yapılarda ahşap kerpiç taş gibi doğal - ekolojik malzemelerin kullanılmasıdır. Doğal yapı malzemelerinin enerji verimliliği, çevre dostu olması ve kullanım kolaylığı sürdürülebilir mimari için önemli avantajlar sağlamaktadır (Ilvitskaya ve ark, 2019, s.3) . Malzeme çeşitliliği hem fiziksel hem de dekoratif özellikler açısından benzersizliği de buna ilave edildiğinde avantaj boyutu daha artmaktadır. Bu avantajların hepsini taş-toprak ve ahşap malzemede görebilmekteyiz.

Bilindiği gibi yapı malzemesi; çevreyi, bünyesine giren enerji miktarı yani gömülü enerji ölçüsünde olumsuz etkilemektedir. Bu enerji; üretimin her aşamasında o aşamanın gerçekleşmesi için gerekli olan enerjiyi ifade etmektedir. Yani, ham maddenin çıkartılması, fabrikaya taşınması, işlenmesi ve kullanılacağı noktaya gelinceye kadar kullanılan enerjinin toplam miktarına tekabül etmektedir. Dolayısıyla, üretim ve inşaat alanları arasında harcanacak enerjiden tasarruf etmek için yapıda kullanılacak malzemelerin olabildiğince yakın çevreden seçilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, sözgelimi hızlı büyüyen bir bitki ve çevreye dost bir malzeme olan bambu kamışı yetiştiği çevrede kullanılması halinde ekolojik bir malzeme olurken Türkiye'de kullanılması -bambu Türkiye'de yetişmediği için - ekolojik bir tasarruf olmamaktadır. Bu bakımdan bir yapıya "yerinden- tedarik" malzemeler ne kadar fazla dahil edilirlse yapının ekolojik değeri de o kadar artar. Bu durum yapının bulunduğu topoğrafyanın sunduğu malzeme taş ise o taşı kullanarak, killi toprak ise kerpiç kullanarak, ormanlık ise de ahşap kullanmayı gerektirmektedir (URL-4). Bu kriterleri uyguladığımızda karşımıza taşın, kerpicingin ve ahşap yapı malzemelerin çıktığını görmekteyiz.

Ahşabın kaynağı olan ormanların; yenilenebilir kaynak olması ve Ülkemizde sürdürülebilir orman yönetimi anlayışıyla işletilen (T.C. Kalkınma Bakanlığı 2014, s.1-89; s 15; Hakverdi, 2020, s. 332-335) ormanlardan yapı malzemesi olacak yeterli ürünün alınmakta olması, taş ve toprağın ise hem ekolojik karakterde olmaları hem de bir çok yörede yeterince bulunması bu üç malzemeyi ekolojik anlamda sürdürülebilir bir malzeme kılmakta ve bize sürdürülebilir tasarımlar yapma imkânı vermektedir.

Taş, yer kabuğunu meydana getiren kayaların jeolojik etkiler altında kalması sonucu vücuda gelen doğal, kristal içyapılı ve inorganik esaslı malzeme olan ve taş ocaklarından çıkarılan (Berber 2012, s. 55) taş, doğadan elde edildiği için mimari tasarımda kullanıldığı zaman da doğaya uyum arz eder. Üretim aşamasında toprak ve su kaynaklarına zarar verici bir etkide bulunmaz. Ancak arazi yüzü üzerinde taş ocaklarının olumsuz etkiler meydana getirdiği gözlenmektedir. Açılıp işletildikleri yerde topografyayı ve peyzajı değiştiren, flora ve faunayı etkileyen taş ve mermer ocakları doğal yapıda gedikler açarak görsel kirliliğe sebebiyet vermesi mümkündür. Buna rağmen önceden planlandıkları takdirde, işletme faaliyeti sona erdikten sonra sunabilecekleri rekreatif ve biyotop potansiyelleri de bulunmaktadır (Oğurlu ve ark, 2014, 230).

Taşın üretilmesi ve kullanılması sırasında atmosferi kirleten zararlı gaz yaymadığı bilinmektedir. Taş, gömülü enerji miktarının az olması yanında iç mekân ısısını koruması dolayısıyla enerjiden tasarruf sağlamaktadır. Yalıtım özelliği sayesinde yapıyı kışın sıcak, yazın serin tutabildiği için gibi termal konfor da sağlayabilir. Bu aynı zamanda yapının ısıtma- serinletme-havalandırma maliyetlerini düşürmektedir.

Taş kullanım ömrü en uzun olan ekolojik malzemedir. Dayanıklılığının yanı sıra ısı kapasitesinin de yüksek olması dolayısıyla ekonomik bir malzemedir. Çünkü yapıda enerji tasarrufu sağladığı gibi aynı zamanda yenilenebilir, geri dönüştürülebilir. Muhtelif yapılarda yapıya temel malzeme olan taşın renk, sertlik ve doku yelpazesi çok geniştir. Bu ise kullanım alanını genişleterek piyasadaki sürümünün ve dolayısıyla ekonomik sürdürülebilirliğinin artması yönünde etkide bulunmaktadır. Taş duvarların termal konfora hizmet etmesi, yığma yapı tekniğinin elverdiği ölçülerde oluşturulan iç mekânların doğal aydınlanma ve havalandırmaya da elvermesi

dolayısıyla taş yapıların enerji etkin yapılar olduğu söylenebilir. (Kıstır ve Kurdoğlu, 2018, s.80-89). Bu durum keza ekonomik sürdürülebilirlik açısından da önemlidir

Taş malzeme; doğal görünüşü, özel doku ve desenleri, yüksek dayanıklılığı dış etkilere dayanımı sebebiyle yeğlenmektedir. Buna karşılık yapay taşlar ise sağlamış oldukları çok çeşitli görsel etki, ebat ve detay çeşitleri dolayısıyla tercih edilebilmektedir. Doğal taş işlenimin zahmetli oluşu yanında yapıya belli bir ağırlık da getirmektedir. Günümüzde yapay taş mamullerin çeşitlenmesi ve yaygınlaşması dolayısıyla doğal taş ancak özele amaçlarla kullanılır hale gelmiştir (Berber 2012, s. 54). Bu ise binalarda doğal taş kullanımının azalması doğal taşın ekonomik sürdürülebilirliğin düşmesi yönünde etkide bulunan negatif bir faktördür. Hâlbuki Akdeniz bölgemiz gibi taşların arazi yüzeyinde açıkta yer aldığı ve araziden toplanılarak kullanma imkânı bulunan yerlerde kullanımı teşvik edilebilir.

Ahşabın malzeme olarak taş ve toprak malzemeye üstünlüğü; hafifliği, çekme ve eğilmeye dayanmasıdır. Bu özellik dolayısıyla büyük açıklıkları geçmekte taşta tercih edilir (Berber, 2012, s.57). Bu sebeple, eski devirlerin basit barınaklarında, sonraları basit açıklık geçme ihtiyacını karşılamada kullanılmış ve nihayet kullanım, günümüzün kompleks yapıları olan köprüler ve çok katlı binalara kadar gelmiştir. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak ahşap ve kullanım teknikleri de gelişmiştir. Doğadan kolaylıkla temin edilebilen ahşabın alternatif yapı malzemelerine üstünlüğü, yapısından ileri gelmektedir. Hiçbir işlem yapılmadan bile kullanılabilir. İhtiyaca göre çeşitli sınıai ürünler haline getirilerek arzu edilen ebat ve kalitede çeşitli malzemeler imal edilebilir (Çelik ve Şakar, 2022, s 303).

Ahşap; kolay işlenmesi ve hafifliğine karşılık yüksek mukavemeti ile de önemli bir yapı malzemesidir. Lifler doğrultusunda büyük bir mukavemete sahip, buna karşılık liflere dik doğrultuda ise büyük bir esnekliğe sahiptir. Bu da aynı cins ahşabın yapının farklı yerlerinde farklı işlevler görmesini sağlar (Anonim, 2009, s. 20-47). Ahşap kökenli malzemelerin çeşitli avantajları bulunmakla birlikte kusursuz değildir. Ancak, ahşap, yapısı gereği kompozit bir malzemedir. Dolayısıyla, ahşap-beton, ahşap-çelik veya ahşap-lifli polimer kompozit malzemeler üzerine yapılan çalışmalar arttıkça ahşabın gelecekte daha verimli kullanılmasının önü açılacaktır (Çelik ve Şakar, 2022, s. 303).

Ahşabın dezavantajı olarak sayılan hususlardan bir kısmı; ahşabın sıcak ortamda büzülmesi/ çekmesi, rutubetli yerde şişmesi, rutubet şartlarında dayanımın azalması gibi (Berber, 2012., s 57) yapısal niteliktedir. Diğer bir kısmı; büyük kesit temin imkânının darlığı, tasarım ve hesap konusundaki kısıtlar ile birleşimlerin yetersiz kalması gibi teknik mahiyettedir (Çelik ve Şakar, 2022, s. 303). Bir kısmı ise ahşabın mantar-böcek gibi dış etkilere karşı gösterdiği zafiyet gibi korumayla ilgili dezavantajlardır. Ancak, sınıai ahşap mamullerin çeşitlenmesi ve kimyasal koruma tekniklerinin devreye girmesiyle bu dezavantajlar hızla ortadan kalkmaktadır. Bu gelişim de ahşabın ekonomik sürdürülebilirliğini hızla arttırmıştır. Ahşaba kaynaklık eden ağaç türlerinin ve hatta her bir ağacın kendine has bir renk ve desene sahip olması sayesinde ortaya çıkan çeşitlilik, tasarımlara zenginlik kazandırdığı ve ayrıca her ihtiyaç için uygun bir ahşap malzeme bulmak mümkün olduğu için, bu yönü ahşaba rağbeti arttırarak onun piyasadaki yerini genişletmektedir. Ancak şu da var ki ahşabın malzeme ve sonlu eleman modellerinde olumlu birçok gelişme olmakla beraber, ahşap hâlâ yönetmelik ve standartlardaki yerini alamamıştır. Bunun başlıca sebebi, hangi modelin hangi şartlarda güvenilir ve ekonomik sonuçlar vereceğine dair bazı soru işaretlerinin bulunmasıdır (Çelik ve Şakar, 2022, s. 303). Bu durum ahşabın teknik-seri üretim imkânlarını ve ekonomik sürdürülebilirliğini azaltmaktadır.

Toprağın çeşitli katkılarla karıştırılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesi olan kerpiç, sürdürülebilirliğin hemen bütün parametrelerine cevap vermektedir. Sürdürülebilir yapılar üretme ve gelecek nesle aktarma konusunda en uygun malzemelerden biri olan kerpiç, maalesef ülkemizde adı genellikle kırsal alanlarla birlikte anılan kentsel alanlarda ise pek tercih edilmeyen bir malzemedir (Olğun ve ark, 2019, s. 711). Geleneksel konut mimarisinde kullanılıp bugün de binlerce örneği ayakta olan bu, malzemenin günümüzde tercih edilebilen bir malzeme olması yani ekonomik sürdürülebilirliği sağlanmalıdır (URL-3) Avantajlarına rağmen kerpiç suya dayanımı olmayan bir malzemedir (Tuzaş ve Çobanoğlu, 2006, s. 103; Olğun ve ark, 2019, s 218). Bu zafiyeti gidermek için alçı katılarak imal edilen bir kerpiç çeşidi olan Alker çağdaş bir malzeme olarak mimari kullanımda ve piyasadaki yerini kolayca oluşturabilir (ekonomik sürdürülebilirlik) Özellikle yöresel toplu konut üretiminin gelişimine katkı sağlama potansiyeli yüksektir (Yakup 2002, s.49). Bu yönüyle de sosyal sürdürülebilirlik potansiyeli göstermektedir. Alker ısı depolama, nem alıp verme ve yalıtım özellikleri ile insan sağlığına uygun bir ortamı yaratır (ekolojik sürdürülebilirlik) .

Kerpiç, alternatiflerine göre, imalat aşamasında en az enerji sarfiyatı olan yapı malzemesidir. Bunu ahşap, ahşabı da taş takip etmektedir. Her üçü de yalıtım görevi de üstlendikleri için mekânın ısıtılması için gereken enerji sarfiyatı düşüktür. Böylece hem yalıtım sayesinde yapının ısı kaybını düşük seviyede tutabildikleri hem nefes alması sayesinde hem havalandırma ve nemlendirme için enerji gerektirmedikleri için ahşap, taş ve toprak ile inşa edilmiş mekânların ekolojik mekânlar olmaktadır. Basit bir ifade ile kerpiç bina; ekonomik, fonksiyonel, sağlıklı ve termal konforludur (Olğun ve ark, 2019, s. 708).

Olumlu özelliklerinin sağladığı birçok avantaja rağmen kerpicin suya dayanıksız bir malzeme olması, bu malzemenin ekonomik sürdürülebilirliği üzerinde negatif bir faktör olarak etkide bulunmaktadır. Bu faktörün etkisi azaltılabildiği ölçüde kerpicin ekonomik sürdürülebilirlik kapasitesi de artacaktır. Keza geleneksel kerpiç yapıların uzun ömürlü olmayıp, bir de bir süre sonra bakımsız bir görünüş alması kullanıcı nazarında itibar kaybetmesine ve tüketicinin sanayi ürünü malzemelere yönelmesine sebep olmaktadır. Bu da yine olumsuz başka bir faktördür. Bu olumsuz faktörlerin etkisini gidermek ve kerpiç yapıların ömrünü uzatmak amacıyla geliştirilen Alker, geleneksel kerpice göre daha dayanıklı ve dolayısıyla daha yüksek ekonomik sürdürülebilirliğe sahip bir nitelik kazandırmıştır (Yakup 2002, s.19). Alkerin malzeme olarak geliştirime süreci (Kafescioğlu, 2017, 290) bir yapı malzemesinin sürdürülebilirliğinin nasıl artırılabilirliği konusunda gösterilecek en iyi örneklerden biridir.

Anadolu' yaygın olan geleneksel kerpiç üretme tekniklerinde önce seçilen toprağın kerpiç yapmaya elverişli uygun olup olmadığı, sonra toprağa ilave edilecek bitkisel malzeme usta-çırak ilişkisi ile yetişmiş ustalar tarafından kontrol edilmekte sonra yine

usta gözetimi altında harç karılmaktadır (Olğun ve ark, 2019, s. 708). Keza harcın kalıplara konup kurutulması, elde edilen kerpiç blokların duvar yapımında kullanılması hep usta nezaretiyle olmaktadır. Ancak bu ustaların sayısı gün geçtikçe ve artan bir ivmeyle azalmaktadır. Yapı üretme konusundaki bu bilgi ve kültüre ait birikim kıymetli bir miras mahiyetinde olup bu mirası akademisyenlerin devralma zamanı gelmiş ve belki de geçmektedir.

5. Kanaat ve Öneriler

Yakın zamana kadar, yapılarda inşaat malzemeleri saf hallerinde kullanıldıkları için çevre dostuydu. İnşaat süreciyle ilgili bugünkü çevresel sorunlar da yoktu. Bugün ise betonarme yapılar ve bu yapılarda kullanılan -neredeyse sayısı bilinmeyen- sentetik malzemenin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri yalın gözle görünür hale gelmiştir.

Doğal kaynaklı ve ekolojik karakterdeki yapı malzemeleri olarak taş, kerpiç ve ahşap enerji korunumuna, kullanıcının sağlığının ve doğal çevrenin korunmasına genel olarak büyük ölçüde olumlu katkılar sağlamaktadır. Bu üç malzemenin kendi içlerinde kıyaslandığında birbirlerine üstün geldikleri veya birbirinden geri kaldıkları durumlar vardır. Bu durum malzemelerin farklı özelliklere sahip olmalarından ileri gelmektedir. Ancak bu farklılık, onların yapıda farklı amaçlarla ve farklı yerlerde kullanılmasına da imkân vermektedir. Yerinde kullanıldığı takdirde hem üstün özellikleri hem de sürdürülebilir karakterleri ortaya çıkmaktadır.

Geleneksel yapı malzemelerinden olan ve bir ölçüde kullanımı günümüzde de hala devam eden bu üç malzemenin yapı sektöründe bugünkü kullanımını, olması gerekenden çok daha düşüktür. Bunun politik, idari, sosyoekonomik, sosyokültürel ve hatta psikolojik sebepleri vardır. Bu sebepler aynı zamanda bu üç malzemenin mimarlık alanında sürdürülebilir bir malzeme olarak yerini alması önündeki engelleri oluşturmaktadır. En başta toplumu bu konuda bilinçlendirecek ve ekolojik malzeme kullanmaya teşvik edecek çalışmaların ve idari düzenlemenin yapılması ve buna yönelik politikaların belirlenmesi lazımdır. Yenilenebilir enerji sağlayan ekipmanların imalatında vergi indirimi, ekolojik özelliklere sahip yapılardan daha düşük ruhsat- emlak- çöp vergisi alınması, ekolojik yapı malzemesi üreticilerine teşvik verilmesi akla gelen tedbirler arasındadır (Esin ve Yüksek, 2019, s.6).

Sınai yapı malzemeleri imalatı doğal dengeyi ekosistemler aleyhine bozmaya zorlamaktadır. Özellikle kullanılan hammaddenin miktarı ve cinsine ve çıkarıldığı ocağın büyüklüğüne bağlı olarak bu etkinin boyutu ve şiddeti de artmaktadır (Tufan ve Özel 2018, s.10). Taş ocaklarında bu etki belirgin olarak gözlenebilmektedir. Bu etkiler sonucunda toprak ve ekosistemde kayıplar ve yapılarında bozulmalara ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple, toprak yapı malzemesinin yaygınlaşmış imalat sektörü tarafından üretilmeye başlaması arzu edilmekle birlikte, bu hususa çok ihtiyatlı yaklaşılması da gerekmektedir. Şöyle ki; toprağı yapı hammaddesi olarak yoğun bir şekilde kullanılması, inşaat sektöründe hammadde talebini yükseltecek, bu da -aynı zamanda tarım, ormancılık, hayvancılık sektörünün ana zeminini oluşturan alanlarda- toprağın bozulmasına, azalmasına, istismarına ve hatta yağmalanmasına yol açabilecektir. Böyle bir risk vardır ve dikkate alınmalıdır.

Her üç malzemenin çevresel boyuttaki bütün kategorilerde ve göstergelere olumlu cevap vermesine (verdiği olumlu tepki/yanıt) bakıldığında bu malzemelerin yapılarda kullanımının yaygınlaşması Ülkemizin çevresel performansına olumlu etki ve katkı sağlama potansiyellerin hayli yüksek olduğu görülmektedir. Bu potansiyel, bunların çevre sağlığı ve insan sağlığını koruma fonksiyonundan, biyoçeşitliliği sağlama ve iklim değişikliğine karşı koymaya kadar muhtelif birçok kategoride kendini göstermektedir.

Kerpiç ucuz, kolay elde edilir ve hızlı üretilen bir malzemedir (URL-2).

Alçı katkılı bir kerpiç cinsi olan Alker; toprağın yalıtımını arttırarak yaşam döngüsü boyunca tasarruf sağladığı gibi, duvarların homojen yüzeylerin düzgün olmasını da sağlamaktadır. Alker, kullanıldığı yapıda, yapıya yapı fiziği açısından da dengeli hale getirir. Yapı içinde yoğunlaşma azalır. Böylece duvar, kimyasal ve fiziksel eskimeden korunurken duvar yüzünde küf ve mikro organizmaların gelişmesi önlenmiş olur. Alçı takviye edilen kerpiç, işlenebilirlik açısından zaman kazandırdığı gibi kalite açısından da daha iyi sonuç verir (Yakup, 2002, s 19).

Kerpiç, -Alker örneğindeki alçı gibi- sınai üretim imkânı olan başka doğal katkılardan destek olarak sosyoekonomik sürdürülebilirliğini arttırabilir. Yalın kerpicein ekonomik sektörün işgal sahasına girmesi ve geniş çaplı kullanılması halinde toprak kaynaklarının istismarını önleyecek çare ve tedbirlerin düşünülmesi gerekecektir. Bu tedbirler arasında kullanım sonu geri dönüşümün güvence altına alınması da yer almalıdır.

Binada ekolojik malzeme kullanmanın, yaygın kullanıma sahip malzemeler göre daha maliyetli olduğu, bunların ancak uzun vadede kazanç sağlanacağı için tercih edilmesi gerektiği şeklindeki görüş (Ayıtis ve Polatkan, 2010, s.2) cam, çelik gibi teknoloji yoğun ürünler için geçerlidir. Taş, ahşap ve kerpiç ise ekolojik tasarımlarda ekonomik biçimde yer verilecek malzemeler arasındadır (Ayıtis ve Polatkan, 2010, s.5).

Ahşap, doğada, kendini yenileyebilen tek yapı malzemesidir. Ağaçların yenilenebilir kaynak, bu kaynaktan çevreye zarar vermeden elde edilebilen ahşabın da sürdürülebilir doğal bir yapı malzemesi oluşu sürdürülebilir mimarlığa çok değerli bir potansiyel ve önemli hareket alanı sunmaktadır.

Binada yerel malzemeye yer verildiği ölçüde yapının ekolojik değeri de artmaktadır. Buna göre ekolojik tasarım için yapının bulunduğu çevrenin sunduğu doğal malzemeyi kullanarak yol almak gerekmektedir. Binanın inşa edileceği yerde taş, toprak ve ahşaptan en az birini bulmak ise her zaman için mümkün olduğundan, bu üç malzeme her zaman için ekolojiktir.

Ekolojik doğal yapı malzemelerinin üretim ve kullanımıyla ilgili olumsuz faktörler ise şöyle sıralanabilir: Bu malzemelerin yangına - depreme - yağışa dayanıksızlığı, çağdaş görünmemesi vb gibi iddialarla gözden düşürülmesi ve dolayısıyla sektör tarafından rağbet görmemesi/sahiplenilmemesi, sektörün bir kesimi tarafında ekolojik olmayana özendirme, kullanıcıların farkında ve bilinçli

olmaması ve dolayısıyla talebin düşük olması ahşap/taş/kerpiç ustalarının iyice azalması ve hatta bulunamaması, en önemlisi de plansızlıktır.

Kullanımı Türkiye çapında boy gösteren kerpicing, dayanıklılığıyla ilgili tereddütlerin giderilmesi çağdaş normlara uygun sürdürülebilir bir malzeme olabilmesi için, kerpiç yapıları yapısal sistem taşıyıcıları açısından da (Tuztaş ve Çobanoğlu, 2006, s. 103) ele alan çalışmaların yoğunlaştırılmasına de ihtiyaç vardır

Yapılar için ekolojik tasarım yöntemlerini ve ekolojik malzeme kullanmak kayda değer bir maliyet artışına yol açmamakta, buna mukabil kullanım ömrü boyunca değerli çevresel kazanç ve keza hatırı sayılır ekonomik kazanç elde edilmesini sağlamaktadır. Mesela günümüzde böyle bir konutun yapımı maliyeti, konvansiyonel binanın en fazla %10'u kadar artmaktadır. Diğer taraftan insan sağlığı ve can güvenliği söz konusu olduğunda konuya sadece fayda/maliyet açısından bakmak da doğru değildir. Ancak bu konuda yol almanın ancak toplumun konuya çevre merkezli bir bakış ile bakması halinde mümkün olacağı da unutulmamalıdır. Şu hâlde istenen gelişmeyi sağlamak için mimari bir yapının tasarımcısından kullanıcıya kadar toplumun her kesiminin konu hakkında bilinçlendirilmesi ve uygulamacıyı teşvik eden düzenlemelerin yapılması, bunun için de bunu sağlayacak devlet politikalarının belirlenmiş olmasına ihtiyaç vardır.

Ekolojik doğal yapı malzemelerinin üretim ve kullanımıyla ilgili olumsuz faktörlerin etkisini gidermeye yönelik stratejiler belirlenmesi ve bu stratejiler doğrultusunda planlama yapılarak bölge bazında bölgeye en uygun ekolojik yapı malzemesinin o bölgede üretimi ve kullanılması teşvik edilmelidir. Kullanıcıların farkındalık ve bilincin artırılması ise temel ihtiyaçtır. Talep oluşturma potansiyeline sahip olduğu için bu yönelik eylem planları da ihmal edilmemelidir.

Ülke genelinde taş-kerpiç-ahşap imalatında uygulanacak vergi indirimi, bunların kullanıldığı yapılardan daha düşük ruhsat- emlak-çöp vergisi alınması, üreticilerine teşvik sağlanması gibi tedbirlerle bu malzemelerin kullanımı ve yayınlamasına destek verilmelidir. Bu konuda ekolojik yapılaşma konusunda belli seviyeye gelmiş ülkelerdeki standart, yasa, yönetmelik uygulamalar örnek alınabilir.

Teknik eleman ve usta ihtiyacını karşılamak için ilk aşamada kerpiç üretme ve kullanım tekniklerine ait bilgi birikiminin akademisyenler tarafından devralınması ikinci aşamada ise bu bilginin eğitim yoluyla ülke çapında yaygınlaştırılmasına ihtiyaç vardır. Aynı ihtiyaç taş ve ahşap yapım ve kullanımı alanında kendini açıkça göstermektedir. Evvela bölge bazında bölgeye uygun ekolojik yapı malzemesinin belirlenip o bölgede üretiminin ve kullanılmasının teşvik edilmesi ve buna yönelik planlama yapılması gerekmektedir.

Akdeniz bölgesi gibi taşın arazi yüzünden veya sığ bir derinlikten tedarik etme imkânı olan yerlerde taş kullanımı teşvik edilmelidir.

Ülkemizde yer yer devam eden geleneksel kerpiç yapımı günümüz mekânlarını oluşturmada yetersiz kalabilir. Ülkemizde henüz dikkate alınmadığı halde bazı ülkelerde sektör olarak gelişen kerpiç veya toprak esaslı yapı malzemesine ait teknolojinin takip edilmesi, kerpiç yapım tekniklerine ait standartların ve kerpiç mekân tasarımına ait ilkelerin ortaya konulması gereklidir.

Anadolu'da geleneksel kullanım şekliyle kerpiç üretimi kerpiç ustaları nezaretinde yapılmakta olup binlerce yılın birikimine dayanmaktadır. Yapı üretme konusundaki bu gelenek bilgi birikimi akademisyenler tarafından devralınmalı ve teknik kerpiç yapımı devam ettirilmelidir.

Ekolojik yapı malzemelerin kullanımını yaygınlaştırmak için ilk yapılacak iş planlamadır. Kullanıcının bilinçlendirilmesi ve farkındalığının artırılması, bölge bazında -bölgeye uygun- ekolojik yapı malzeme çeşidinin belirlenip o bölgede üretiminin ve kullanılmasının teşvik edilmesi gibi tedbirler planlı bir şekilde hayata geçirmelidir.

Kaynakça

- Akbaş, M. F., Aslan, M. ve Arpacıoğlu, Ü. (2022). Yeşil malzeme bağlamında kerpiç. Eksen Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi, 3(2), 72-88. ISSN: 2757-5640 Doi: <https://doi.org/10.58317/eksen.888676>
- Anonim. (2009). KUDEB Ahşap Eğitim Atölyesi, Geleneksel Ahşap Yapı Uygulamaları, İstanbul, Özgün Ofset
- Aytis, S. ve Polatkan, I. (2010). Beton Malzemenin Kamusal Alanlarda Ekolojik Olarak Kullanımı Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS), 26- 28 Mayıs 2010, Ankara, Türkiye
- Balanlı, A. (1997). Yapıda Ürün Seçimi, İstanbul, Yıldız Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Eğitim ve Kültür Hizmetleri Derneği Yayını No 4,
- Baumeister, D. (2013). Biomimicry Resource Handbook. A Seed Bank of Best Practices.USA Missoula, Montana.
- Baykan, B. G. (2011). Dünya Çevre Liginde Türkiye Nerede, BETAM Araştırma Notu (11/116), İstanbul, Bahçeşehir Üniversitesi, 5s. (<https://betam.bahcesehir.edu.tr/wp-content/uploads/2011/05/ArastirmaNotu116.pdf>)
- Berber, F., 2012, Ekolojik Malzemenin Tasarımdaki Yeri ve Ekolojik Malzemeyle Mimari Konut Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Haliç Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul, 203 s.
- Bozyel, M.E. (2021). Betonarme Kullanıcılarının Kerpiç Yapılar Hakkındaki Görüşlerinin Bilimsel Veriler Doğrultusunda İncelenmesi, Yüksek Lisans tezi, Fatih Sultan Mehmet Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Brancaccio, F. (2017). Timber and Earthquake: The Same Old Story, Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu 5, 24-26 Nisan 2017, Beşiktaş-İstanbul.
- Castanheira, G and L. Bragança, 2014, The Evolution of the Sustainability Assessment Tool SBToolPT: From Buildings to the Built Environment, Hindawi Publishing Corporation, The Scientific World Journal Volume 2014, Article ID 491791, 10 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/491791>

- Çelik, H. K. & Şakar, G. (2022). Geçmişin ve Geleceğin Yapı Malzemesi Olarak Ahşap: Yapı Mühendisliği Çerçevesinde Bir İnceleme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (36), 298-304. DOI: 10.29048/makufebd.382966
- Ergenç, S. (2007). İç Duvar Kaplamalarında Ürün Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Esin, T., ve Yüksek İ. (2009). Çevre Dostu Ekolojik Yapılar 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük-Türkiye
- Gezer, H. (2013). Geleneksel Safranbolu Evlerinin Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Yıl: 12 Sayı: 23 Bahar 2013 s. 13-31.
- Hakverdi, A. E. (2020). Türkiye’de Sürdürülebilir Orman Yönetimi Kriter Ve Göstergelerinin Değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 21(3): 332-343. DOI: 10.18182/tjf.691776
- Ilvitskaya, S. V., Lobkov, V. A. and T. V. Lobkova (2019) Natural Materials in Sustainable Architecture Building System, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 687 (2019) 055030 doi:10.1088/1757-899X/687/5/055030
- Kafescioğlu, R. (2017), Çağdaş Yapı Malzemesi Toprak ve Alker, İstanbul, İTÜ Vakfı Yayınları,
- Karabetça, A. R. (2018). Biyomimikri Destekli Tasarım Ölçütleri İle Yenilikçi Mekânlar Yaratılması, *The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication - TOJDAC* ISSN: 2146-5193, 2018 (8) 1, p.104-111 DOI NO: 10.7456/10801100/010
- Karahan, E. (2017). Geleneksel ve Günümüz Konutunda Sürdürülebilirlik ve Yaşam Aışkanlıkları: Osmaneli Örneği, *MEGARON*;12(3):497-510 DOI: 10.5505/megaron.2017.27037
- Kıstır, M. R., Kurtoğlu, D. (2018). Geleneksel Konut Mimarisinin Sürdürülebilirlik Bağlamında İncelenmesi: Ayvalık ve Oxford Evleri Örneği, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 9 (1): 83-90 ISSN Online: 1309-2243
- Koç, V. (2016) Depreme Maruz Kalmış Yığma ve Kırsal Yapı Davranışlarının İncelenerek Yığma Yapı Yapımında Dikkat Edilmesi Gereken Kuralların Derlenmesi, *Çanakkale, Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2016:2, 1, 36-57.
- Kutlu, İ. ve Ergün, R. (2020). Geleneksel Anadolu Yapılarında Ahşap Üst Örtü Gelişiminin Değerlendirilmesi. *International Journal of Mardin Studies*, 1(1), 93-109.
- Oğurlu, İ., Aksu, G.A., Sözgen, Ö. T. (2014). İşleyen ve İş Bitmiş Taş ve Mermer Ocaklarının Peyzaj Rekreasyon ve Biyotop Tasarım Potansiyeli, *Ulusal Mermer ve Taş Ocakları Onarım Sempozyumu*, 18-20 Eylül 2014-Isparta, Bildiriler Kitabı s. 227-241. http://ormanweb.sdu.edu.tr/mermerteknik/belgeler/BildirilerKitabi_v2.pdf
- Olgun, İ., Büken Cantimur, B., Haşgöl, E., Turgut, E., Ergün M., (2017). Kastamonu- Küre: Kırsal Yerleşimden Yeni Yapıya, İstanbul, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Yayınları 856, ISBN: 978-605-5005-67-2, İncekara Matbaacılık
- Olğun T. N., Akyıldız N., A., Gülten A, Ekici B., Açıkgenç B., Ulaş M. (2019). Doğal Yapı Malzemelerinin Sürdürülebilirlik Bağlamında Değerlendirilmesi- Kerpiç Malzeme Örneği, 3. Anadolu Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, Diyarbakır 28-29 Aralık 2019, Uygulamalı Bilimler Kongresi Kitabı, SBN: 978-605-80174-3-6, s 707- 712.
- Özmehmet, D. E. (2008). Dünyada ve Türkiye Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımları. *Journal of Yaşar University*, 3(12), 1853-1876.
- Reuelta-Acosta J. D., Garcia-Diaz A., Soto-Zarazua G.M. and Rico-Garcia E., (2010). Adobe as a Sustainable Material: A Thermal Performance, *J of Applied Science* 10 (19): 2211-2216, 2010
- Sağdıçoğlu, M. S. (2020). Geleneksel Mimarideki Ekolojik Ölçütlerin Değerlendirilmesi: İzmir-Şirince örneği. Yüksek lisans tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
- Sayar, Z., Gültekin A. B ve Dikmen Ç. B. (2009) Sürdürülebilir Mimarlık Kapsamında Ahşap Ve PVC Doğramaların Değerlendirilmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük-Türkiye
- Suhamad D A and Martana, S. P. (2020) Sustainable Building Materials, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020, 879 012146
- Şimşek Tolacı, S & Hüzmüzlü B (2020). Isparta'da Kerpiç ve Yaşam. Isparta, Desen Ofset.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı, Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018) Sürdürülebilir Orman Yönetimi Özel İhtisas komisyonu raporu, Ankara,
- Tavşan C., Şahiner Tufan A., Tavşan F. (2022). Ekolojik Malzeme Olan Ahşapla Yapılan Çok Katlı Yapılar, *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, cilt.7, 291-309
- Tufan, M., Z., Özel C. (2018). Sürdürülebilirlik Kavramı Ve Yapı Malzemeleri İçin Sürdürülebilirlik Kriterleri, *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 2, (1) 2018, 9-13.
- Tuztaş ve Çobanoğlu (2006), Anadolu'da Kerpicin Kullanım Geleneği Ve Kerpiç Konut Yapım Sistemlerinin Karşılaştırılması, *Tasarım+Kuram*, Sayı 5, Aralık 2006, s. 103.
- Üstün, B. (2008). Sürdürülebilir Mimarlık Kapsamında Kağıtın Çatı Ve Cephe Sistemlerinde Kullanımı: Shigeru Ban'ın Tasarımları 4. Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler” Sempozyumu, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul-Taşkışla- 13-14 Ekim 2008.
- Yakup N., (2002). Plan Tipolojisi ve Üretim Teknolojisi Bakımından Gönyeli'de Kerpiç Konutlar, Master Tezi, Kıbrıs, akın Doğu Üniversitesi Fen ve Sosyal Bilimler Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı.

İnternet Kaynakları

URL-1: <https://kutuphane.ticaret.edu.tr/ekual-veritabanlari/> Erişim Tarihi: 09.01.2024

URL-2:<http://semihakseker.blogspot.com/2011/11/kerpic-ev.html?zx=b55e2e87d246b200> Erişim Tarihi: 09.01.2024

URL-3:<http://www.arkitera.com/etkinlik/2109/surdurebilir-mimari-tasariminda-kerpic-malzeme-kullanimi> Erişim Tarihi: 09.01.2024

URL-4:<https://www.arkitera.com/soylesi/yapida-ekoloji-kavrami-butunsel-olarak-ele-alinmiyor/> Erişim Tarihi: 09.01.2024.



The Effect of Crump Weir's Geometry Changes on Hydraulic Flow Characteristics: A Review*

Arwa A. Mala Obaida¹, Ahmed Y. Mohammed^{2*}

¹ University of Mosul, College of Engineering, Dams and Water Resources Engineering Department, Mosul, Iraq, (ORCID: 0000-0002-1987-5400), arwa.abdalrazzaq@uomosul.edu.iq

^{2*} University of Mosul, College of Engineering, Dams and Water Resources Engineering Department, Mosul, Iraq, (ORCID: 0000-0002-2274-9202), ahmedymaltaee@gmail.com; a.altae@uomosul.edu.iq

(First received 25 March 2023 and in final form 11 January 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10646962)

ATIF/REFERENCE: Obaida, A. A. M. & Mohammed, A. Y. (2024). The Effect of Crump Weir's Geometry Changes on Hydraulic Flow Characteristics: A Review. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (53), 168-175.

Abstract

Water is one of the natural resources that man has known since ancient times and relied on daily. Its availability is an urgent necessity to sustain life and achieve human development. It is the primary food source for many people who live near the river and depend on fishing and agriculture for their livelihood. Therefore, dams are built across rivers to store water and create an artificial lake behind the dam to provide and utilize water and increase the discharge. The current studies focus on one of these types of weirs, the crump weir. Some of these studies deal with adding changes to the geometric shape, such as adding holes with different numbers, changing the height, making the weir in a V-shape, and changing the angle of inclination before and after the weir using artificial intelligence technology. The results showed an increase in the discharge coefficient (Cd) and the flow energy dissipation.

Keywords: crump weir, roughness surface, angle inclination, discharge coefficient(cd). Opening Holes, modular flow, energy dissipation.

* 2nd International Conference on Scientific and Academic Research ICSAR 2023, March 14-16, 2023

1. Introduction

The weir is one of the most significant hydraulic components to control and regulate discharge. They have multiple uses, the most important of which are irrigation, electric power generation, and flood control, as well as in improving river navigation [1], [2], [3]. Many types of weirs depend on the geometrical shape of the weirs, the most important of which are Broad Crested Weir, Sharp-crested weir, V-notch sharp-crested weir, Trapezoidal-shaped (Cipolletti) weir [4]. When there is a lack of available head of water above the weir, other options besides the rectangular submersible weir include the short-crested weir, Ogee weir, and Crump weir [5]. With a triangular cross-section, it is referred to as level a V-three-sided profile weir. [6],[7]. This type of wastage was developed in some countries which depend on fish for their livelihood—one of the solutions of fish gathering Fig. 1 [8],[9].



Fig.1. Keep fish from passing the waterway [10].

2. Crump Weir

An English structural architect (Edwin Samuel Crump) was the first who design this type of weir [11]. A Crump weir is a two-dimensional triangular weir shaped like a triangle in the streamwise order and has a horizontal crest in the transverse direction. The upstream slope is 1:2 while the downstream slope is 1:5 to 1:2, respectively [7],[12]. Compared to previous long-based weirs, they offered a more extensive modular range and predictable performance under submerged situations [13]. The main benefit of using a crump is making the discharge coefficient of the flow constant and stable during the modular flow. Also, the structures are not affected by non-modular flow [14]. The crossing point of the two slanting surfaces shapes an even straight peak at the right moments to the stream course in the methodology stream channel. The rise may be made of painstakingly adjusted and joined substantial segments or have a cast-in non-corrodible metal profile. Crump weirs are utilized as estimating structures in open channels. They enjoy the benefit that the coefficient of discharge is unsurprising and that the downstream bed heights affect the particular cut-off points and the measured coefficient for one of every two upstream and one out of five downstream slanting appearances. The upstream slope was made to stop silt accumulation from reaching the summit. Under modular flow circumstances, the downstream slope was shallow enough to enable a hydraulic jump to develop on the weir, serving as an inherent energy dissipator and reducing losses under submerged conditions. It is not possible to obtain an exact equation for calculating the discharge passing over the weir because the flow pattern differs from one weir to another, as the flow pattern changes with the discharge [15]; consequently, Eq (1) is the equation for calculating the discharge across Crump Weir [6].

$$Q = C_d B g^{1/2} H^{3/2} \quad (1).$$

3. Modular Flow (Not Submerged Flow)

This type of flow occurs when the water level downstream crump weir is not affected by the water level upstream of the weir Fig.2. Therefore, it is easy and possible to measure the flow passing over the weir individually [16],[17].

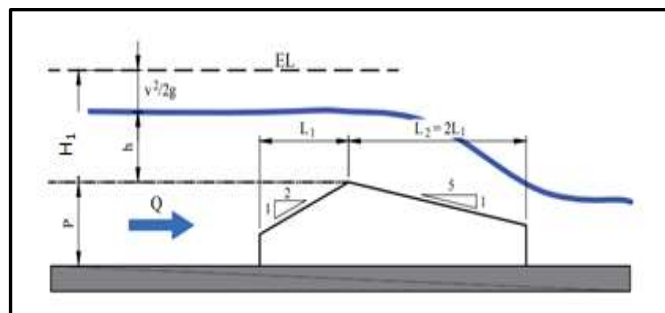


Fig.2: Sketch for Crump weir through modular flow condition[16].

4. Non-Modular Flow (Submerged)

This flow type occurs when the water depth downstream of the weir is influenced by the water depth upstream. The water level must be monitored upstream and downstream to ascertain the discharge that crosses over the weir's crest in these flow conditions [18]. Fig.3. The water depth behind the weir must be 75% lower to prevent this occurrence.

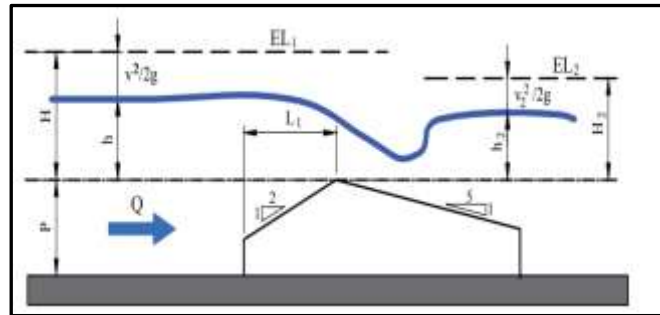


Fig. 3 sketch for Crump weir through non-modular flow condition [16].

5. Application Studies

Several studies have been conducted for the runoff over the weir type -crump, and a change in the traditional weir's geometry was carried out to improve the weir performance. Investigating the influence of height and surface roughness on the discharge coefficient (C_d) and flow parameters over the weir can be considered the first investigation on this type of weir (crump weir). Therefore, the researcher [19] conducted laboratory experiments using three dams of different heights, and for each model, three types of roughness were used for the dam surface. The obtained results showed that the discharge coefficient (C_d) values would increase with the increase in discharge and decrease with the decrease in the dam's height. Also found, the increase in the surface roughness leads to an apparent reduction in the discharge coefficient values (C_d) Fig. 4.

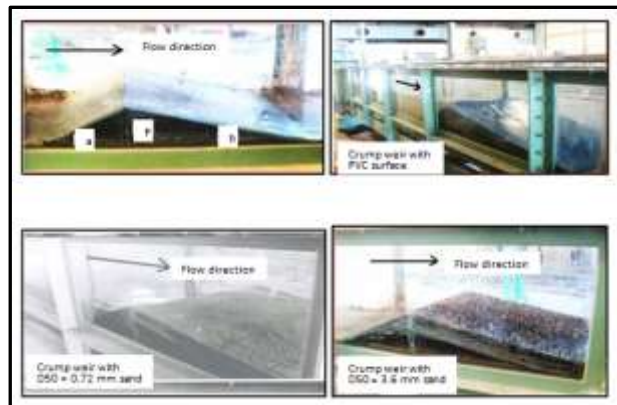


Fig.4 flow over three crump weirs [19].

[20] concentrated on the impact of longitudinal stream openings (openings) entering both downstream and upstream sides of the crump weir evenly, acting as energy dissipators and releasing coefficient additives. [21] concentrated on a standing slanted peak Crump weir. He reasoned that the weir acts as one portion of a level V- Crump weir at obdurately huge heads for the same cross-over peak slant. At lower heads, the stream cross segment turns out to be unequivocally unbalanced with a critical reduction in release coefficient esteem. [22] concentrated on altering the peak of the crump weir to be Angular as opposed to an ordinary crest. They utilized Four crump weir models made of wood. Each model included a portion of a triangle with a flat, longitudinally symmetrical base. Length of base $L= 78.5$ cm, the width of weir $B= 29.5$ cm, and the height of crest $P= 20$ cm; however, they differed by the level of the centre peak, P , which was shown by models 1, 2, 3, and 4 as 20, 17.5, 15 and 12 cm, respectively, in Fig. 5

Eight stream rates, five stream profundities, and constant state-secluded stream conditions were applied to the three angular peaked crumps and the typical crump. The findings demonstrated that, in contrast to model 1 of $P/P=1$, the values of the upstream approach Froude number (Fr) dropped with decreasing (p) for models 2, 3, and 4, respectively, due to a reduction in flow velocity and an increase in flow depth with decreasing p' . The weir's effectiveness in dissipating flow energy reduces at a relatively low (Fr). Models 3 and 4

demonstrate this, and as a result, there is reduced energy loss. Similar energy dissipation was shown in Fig. 6 for Model 2 with ($P'/P=0.875$) and Model 1 ($P'/P=1$).

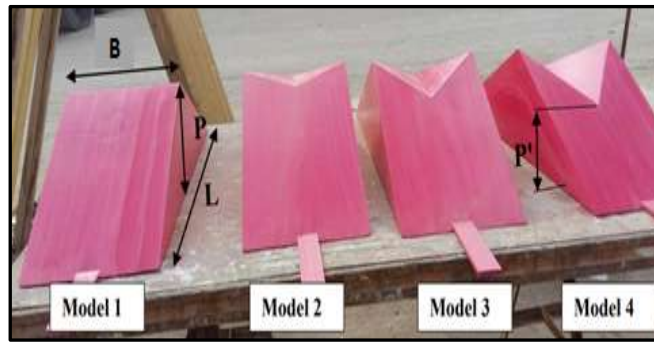


Fig.5: Crump Weir traditional and models [22].

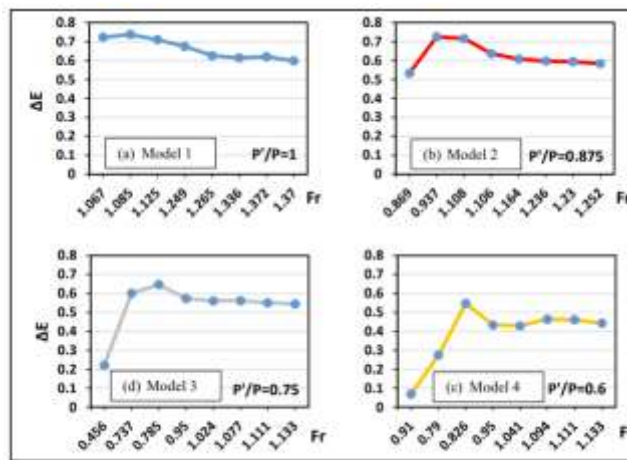


Fig. 6 The relation between ΔE and Fr for (a) model 1, (b) model 2, (c) model 3, and (d) model 4[22].

[5] considered the connection between the pace of the stream and upstream head over crump weir other than acquiring a rough free surface profile in an unstable open channel stream. In the researcher's study [20], [10] a new performance of the Crump-type weir was used by placing holes in the body of the traditional weir to know the effect of these openings on the discharge coefficient(C_d) and the dissipation of the energy of flow Fig. 7.

The laboratory experiments showed that the discharge coefficient(C_d) increases by increasing the number of openings from one to two and three openings, at a rate ranging from 10,11,13 %, respectively (Fig. 8).

The results showed that the best flow behaviour is in the case of a weir with two holes, compared to the case of one and three holes, because the flow is more stable. Furthermore, the progress stream system has fewer dangers, and the maximum dissipation in the flow energy is when using two holes in a body. Growling: The results also showed that using three holes in the weir is unstable and difficult to install in the channel Fig. 9.

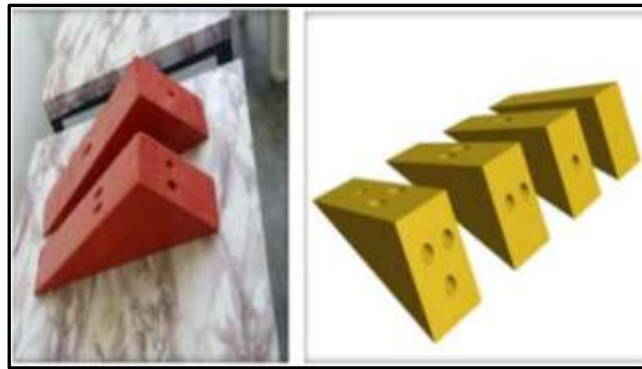


Fig.7: Physical models of crump weir[20].

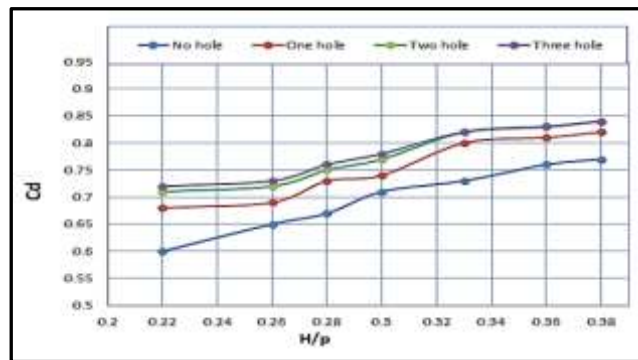


Fig. 8 shows the relationship between the discharge coefficient (C_d) and the ratio of H/P for the models [20].

[23] concentrated on the way of behaving of crump weirs under different cross-over peak inclines, he presumed that for the was presumed that for a similar cross-over peak incline, the construction acts as one portion of level V weir at moderately enormous heads.[24] He evaluated the alignments performed on the Crump weirs; he showed that the exact activity of ump weirs is plausible in non-standard Circumstances.[5] contemplated the connection between the pace of the stream and upstream head over crump weir other than getting a rough free surface profile in a thin open channel stream [25]. He demonstrated that the coefficient of release varies with the value of the absolute strength by using the example of a stream and the coefficient of release in open channels and a water treatment facility for Crump Weir (TS). [26] studied the crump weir's height, the weir's angle upstream on the discharge coefficient(c_d), and the flow characteristics that pass over the weir. The (FLOW 3D) program was also used to conduct new experiments. Laboratory experiments were conducted using an artificial channel; the researcher used 15 physical models, five different angles of upstream the weir 17° , 22° , 27° , 32° and 37° , and three heights of the weir 10, 15, and 20 cm, under different conditions of flow Fig. 10.

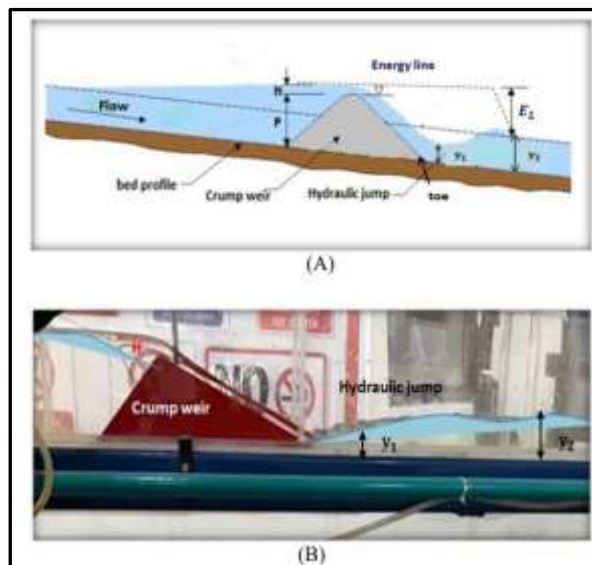


Fig. 9 The hydraulic jump appearance: (A) Theoretical sketch of hydraulic jump; (B) The model in the reality of the hydraulic jump method [20].

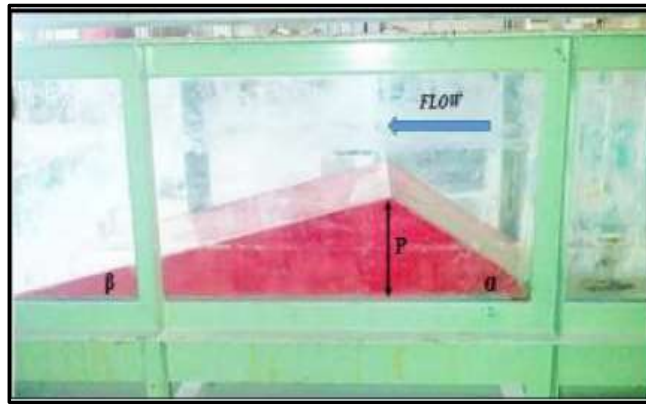


Fig.10: physical model of crump weir[26].

The study's results also showed that the discharge coefficient's value drops as the angle ahead of the weir increases. It was noticed that by increasing the rise from 27o to 32o and from 27o to 37o, the discharge coefficient value decreases by 5.1 % and 7.2 %, respectively. While at the reduction in the angle from 27o to 22o and from 27o to 17o, the discharge coefficient value increases by 1.5 % and 3.7 %, respectively Fig. 11.

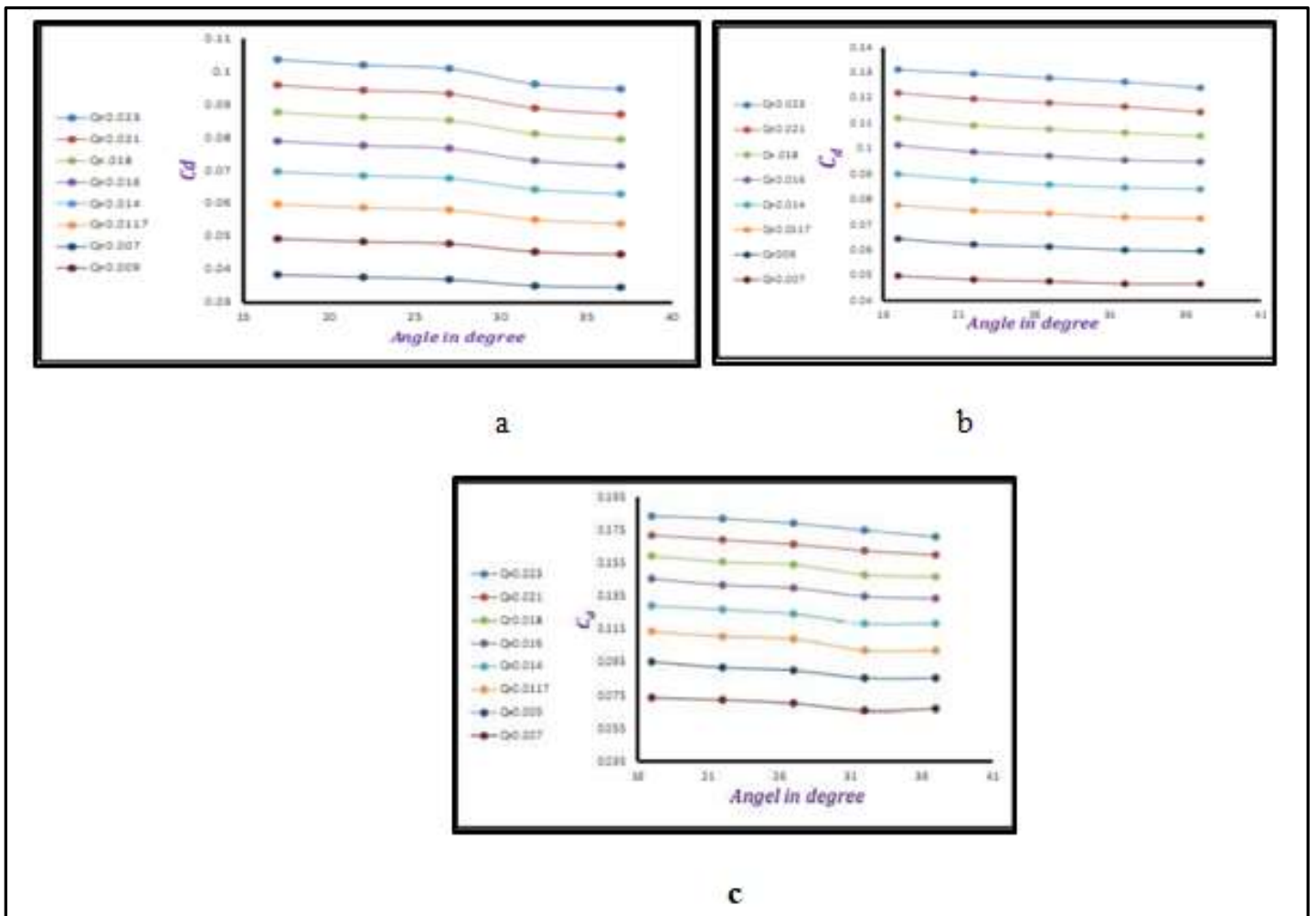


Fig.11: the relationship between (C_d) and upstream angles [26].

The researcher [27] studied the application of artificial intelligence techniques in estimating the discharge coefficient using eighteen physical models of the crump weir; they used different crest angles with a value of 80, 90, 100, 110, 120, and 130°, different angles for the inclination of upstream weir with a decreasing value of 85, 70, 55, 40, 25 and 10 and various tips for downstream of the weirs with an increasing value of 15, 20, 25, 30, 35 and 40, as shown in Fig. 12. The findings indicate a perfect agreement between the laboratory values and the values using artificial intelligence techniques. Cd's value depends on a crump weir's upstream, crest, and descending angles. When the summit slope rises from 80 to 130, the downstream angle rises from 15 to 40, and the upstream angle falls from 85 to 10, the Cd falls.

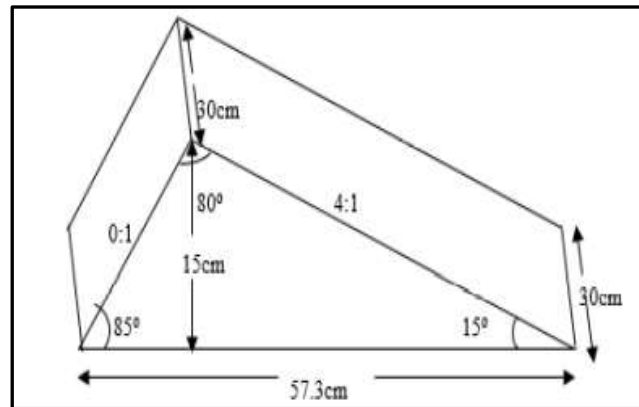


Fig.12: sketch crump weir model 1 [27].

In the researcher's study [28], he used low-cost physical models to provide safe passage. For fish in England and Wales, hydraulic measures included the erection of slotted baffles with different numbers, arrangements, and arrangements. The researcher [29] used triangular weirs to find the discharge coefficient (cd) using other water discharges passing over the crump weir. Three physical models of the crump-type weir were used with different inclinations and a fixed height. Experiments proved that the best discharge coefficient obtained is 1.255 at a distance equal to four times the height of the weir. The best section of the crump weir, which is symmetrical upstream and downstream of the weir, is with a slope respectively: 1: 2 and 1: 5, as well as 1: 2 and 1: 2. The researcher [30] used four models of Crump type with Slope 2: 5, 2: 2, 2: 3 to find the discharge coefficient and the submersion coefficient. Draw curves for each weir to find the discharge and error rate to know the characteristics of the weir at different discharges.

6. Conclusion

1. the values of discharge coefficient Cd will increase with an increase in discharge and decrease with a decrease in the dam's height. Also, the increase in the surface roughness leads to an apparent reduction in the discharge coefficient's magnitude Cd.
2. The benefits of the upstream strategy Due to a decrease in flow velocity and an increase in flow depth with lowering p', the fraud number Fr fell. The weir's ability to dissipate flow energy lessens. Models 3 and 4 demonstrate this, and as a result, there is reduced energy loss. Similar energy dissipation was seen in case 2 with P'/P=0.875 as in case 1 without opening P'/P=1.
3. Increase discharge by increasing the number of openings from one to two and three. The best flow behaviour is when using a weir model that contains two holes, compared to the case of models with one hole and three holes. The maximum dissipation in the energy of the flow is in the case of using two holes.
4. The discharge coefficient value decreases when the weir's upstream angle is increased. The value of Cd is influenced by the crump weir's downstream, crest, and upstream angles. The peak angle rises from 80 to 130, the downstream angle rises from 15 to 40, and the upstream angle drops from 85 to 10 as the Cd lowers.

References

- [1]. Malla Obaida. Arwa Abdul Razzaq Jamal, Effect of Hydraulic Variables on the Scour For Piano Key Weir Type C. M.Sc. thesis, Department of Dams And Water Resources Engineering, College of Engineering, University of Mosul, (2021).
- [2]. K.Pathirana, M. Munas, and A. L. A. Jaleel. "Discharge coefficient for sharp-crested side weir in supercritical flow." J. Institution Eng 39, no. 2, 2006: 17-24.
- [3]. C. Rickard, R. Day, J. Purseglove, River Weirs – Good Practice Guide. Environment Agency, Rio House, Waterside Drive, Aztec West, Almondsbury, Bristol. 2003.
- [4]. H. H. Bengtson, Sharp-Crested Weirs for Open Channel Flow Measurement. 2011.
- [5]. M. Razi, M. Adib, D. Tjahjanto, W. Mohamed, W. Afnizan, S.N. Husin, Evaluation of unsteady open channel flow characteristics over a crump weir. In International Conference on Civil Engineering Practice (ICCE08), Kuantan, Pahang, (2008).
- [6]. A. G.Adegun, A. A. Mohammed. Review of methods of measuring streamflow using hydraulic structures. In Hydraulic Structures-Theory and Applications. IntechOpen, 2019.

- [7]. E. S. Crump, A new method of gauging stream flow with little afflux using a submerged weir of triangular profile. Proc. Inst. of Civ. Engrs., 1(1),223-242, 1952.
- [8]. J.Tummers, Evaluating the effectiveness of restoring longitudinal connectivity for fish migration and dispersal in impacted river systems (Doctoral dissertation, Durham University). 2016.
- [9]. W.R. White, R. Iredale, G. Armstrong, Fishpasses at flow measurement structures. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management, vol. 159, no. 3, pp. 165-171. Thomas Telford Ltd, 2006.
- [10]. H. Al-Naely, A. Majdi, Z. A. Al-Khafaji, study of the development of the traditional Crump Weir by Adding Opening Holes within the weir body.
- [11]. Anonymous. Edwin Samuel Crump, Who Was Who. London: Black. p. 263. 1972.
- [12]. Wodd Meteorological Organization Use of Weirs and Flumes in Stream Gauging Technical Note No. 117, Report of the Commission for Hydrology, WMO-No. 26. TP, Geneva: Switzerland p 27, 1971.
- [13]. A. Chadwick, J. Morfett, M. Borthwick, Hydraulics in Civil and Environmental Engineering. 4th ed. Pondicherry, India: Integra Software Services Pvt. Limited; 2004.
- [14]. P. Wessels, A. Rooseboom, Flowgauging structures in South African rivers Part 2: Calibration. Water SA, 35(1), 2009:11–19.
- [15]. H. Richard, French, "Open-Channel Hydraulics. McGraw Hill, Civil Engineering Series. 1985: Page; 1-24, 325-365, 393-365.
- [16]. A. Maritz, F. Van Vuuren, modelling of composite type variation of the Crump weir. environmental engineering. Civil Engineering Siviele Ingenieurswese, 2015(7), 2015: 36-45.
- [17]. K. John Vennard, L. Robert, Street, Elementary Fluid Mechanics. Sixth Edition, John Wiley and Sons, 1982.
- [18]. R. Silesh I, Flow Over a Crump Weir. The University of Alabama. Alabama, 2009.
- [19]. J. N. Hussein, Experimental study of height and surface roughness effects of crump weirs on overflow characteristics. Journal of Babylon University/ Engineering Sciences, 22(4), 2014: 845-859.
- [20]. H. AL-Naely, Z. Al-Khafaji, S. Khassaf, Effect of Opening Holes on the Hydraulic Performance for Crump Weir. International Journal of Engineering (IJE), IJE TRANSACTIONS C: Aspects 31 (12), 2018: pp:2022-2027.
- [21]. R J, Keller, Sloping Crest Crump Weir Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 115 (2) 1989: pp: 231–238.
- [22]. H. M. M. Al-Khateeb, J. H, Sahib, H. H. H, Al-Yasisri, An experimental study of flow over V-shape crump weir crest. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 584, 2019, August: No. 1, p. 012060). IOP Publishing.
- [23]. R. J. Keller, Sloping Crest Crump W E I R. University of Leeds, Copyright ASCE, 2015.
- [24]. J. A, Hudson, Choice and Calibration of Stream Flow Structures for Two Mountain Experimental Basins Flow measurement and instrumentation. IAHS Publ. no. 193, 1990.
- [25]. S. N. Hassan, The Effect of Total Solids on the Discharge Coefficient of Spillway, Broad crested weir and Crump weir, Environmental Engineering Department College of Engineering University of Al-Mustansiriya Baghdad. Iraq, 2013.
- [26]. A. Al-Shukur M. Al-jumaily, Z. Shaker, Experimental investigation of flow characteristics over crump weir with Different conditions. Saudi Journal of Engineering and Technology, 2(10), 2017: 373-379.
- [27]. S. Khalifa, Y. Adeogun, B. K. Ismail, A. Ajibike, M. A., M. M, Muhammad, Performance Evaluation of Flow over Crumhilppolkm. 2022.
- [28]. S A, Servais, Physical modelling of low-cost modifications to the Crump weir to improve fish passage: Development of favorable swimming conditions and investigation of the hydrometric effect PhD. Thesis, Engineering Systems Department, Cranfield University, Shrivenham, England,2006.
- [29]. A. B rakeni, E. Filippov, M.Meridja, flow through crump weir . larhss Journal, (38), 2019: P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, 93-102.
- [30]. B. Achour, T. Bouziane, K. Nebbar, Debitmetre tringulare a paroi epaisse dans un canal rectangular (Première partie). Larhyss LARHYSS Journa, 2003: P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (2).



Sinyalize Bir Kavşakta Simülasyon Tabanlı Fizibilite Çalışması Yeşilova Kavşağı Örneği*

Süleyman Saraç^{1†}, Leyla Suri²

¹ Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1624-1955), suleymansarac@kocaeli.bel.tr

^{2*} İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3225-1221), lsuri@ticaret.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 2 Kasım 2022 ve Kabul Tarihi 19 Kasım 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10647015)

REFERENCE/ATIF: Saraç, S. & Suri, L. (2024). Sinyalize Bir Kavşakta Simülasyon Tabanlı Fizibilite Çalışması Yeşilova Kavşağı Örneği. *European Journal of Science and Technology*, (53), 176-188.

Öz

Ülkemizde son yirmi yıllık süreç içerisinde yaşam standardının yükselmesi ve teknolojik gelişmeler sonucu kentlerde seyahat tercihleri değişmeye başlamıştır. Artan yolculuklar iyi yönetilmediği takdirde hava kirliliği, trafik kazaları, zaman kayıpları ve trafik sıkışıklığı gibi çok sayıda soruna yol açabilmektedir. İnsanların trafikte geçirdikleri zamanın artmasıyla kent yöneticileri ve uzmanlar yeni karayolu projeleri ve yeni ulaşım yatırımlarını hayata geçirerek yaşanan trafik sorunlarına çözüm üretmeye çalışmışlardır. Yatırım kararları, detaylı irdelenme ve araştırmalar sonucu verilmezse, trafik sorunlarının çözümünde istenilen neticeyi almak güçleşmektedir. Ortaya koyulan çözüm önerilerinin fayda maliyet analizlerinin ve detaylı bir fizibilitesinin yapılmasının kamunun ve trafik sorunun çözümüne faydası olacaktır. Bu çalışma kapsamında Kocaeli genelinde yapılan analizlerden ortaya çıkan trafik sıkışıklığı ve sorunlarının gözlemlendiği Yeşilova Kavşağı incelenerek ulaşım yatırımlarının trafik sıkışıklığına etkileri trafik modellemesinde kullanılan PTV Vissim yazılımı yardımıyla analiz edilecektir. PTV Vissim yazılımı yardımıyla mevcut durum ve önerileri üzerinde mikro simülasyon modeli oluşturularak halihazırda işleyen mevcut trafik akışı daha önceden yapılan trafik sayımları verileri kullanılarak analiz edilmiştir. Ulaşım yatırımları alternatifleri arasında geliştirilen senaryolar mevcut ve projeksiyon trafik hacminde test edilerek, Yeşilova kavşağı üzerinde yapılması planlanan projelerin çözüme katkısı karşılaştırılacaktır.

Anahtar Kelimeler: planlama, trafik güvenliği, trafik sıkışıklığı, ulaşım, simülasyon

Evaluation of the Feasibility of Highway Projects with a Simulation Model

Abstract

As a result of the increase in living standards and technological developments in the last two decades of our country, travel preferences have begun to change in cities. If the increased journeys are not managed well, it can lead to many problems such as air pollution, traffic accidents, loss of time and traffic congestion. With the increase in the time people spend in traffic, city managers and experts have tried to find solutions to the traffic problems by implementing new highway projects and new transportation investments. If investment decisions are not made as a result of detailed examination and research, it becomes difficult to get the desired result in the solution of traffic problems. The cost-benefit analysis and detailed feasibility of the proposed solutions will be beneficial for the public and for the solution of the traffic problem. Within the scope of this study, Yeşilova Junction, where traffic congestion and its problems are observed, will be examined and the effects of transportation investments on traffic congestion will be analyzed with the help of PTV Vissim software used in traffic modeling. With the help of PTV Vissim software, a micro-simulation model was created on the current situation and recommendations, and the current traffic flow, which is currently operating, was analyzed using the data of traffic counts made before. In the scenarios developed among the transportation investment alternatives, the existing and projection traffic volumes will be tested and the contribution of the projects planned to be built on the Yeşilova junction to the solution will be compared.

Keywords: planning, traffic congestion, traffic safety, transportation, simulation

* Bu çalışma Süleyman Saraç Yüksek Lisans Tezi kapsamında yapılmıştır.

† Corresponding Author: suleymansarac@kocaeli.bel.tr

<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

1. Giriş

Dünyada ve Ülkemizde özel araç kullanımına bağlı olarak artan trafik yoğunluğu ile birlikte trafik sıkışıklıkları da artmış ve ülkemizin önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Trafik sıkışıklıkları sadece zaman ve hava kirliliği bağlamında değil aynı zamanda sosyal ve psikolojik açıdan da toplum sağlığının en önemli sorunlarından biri olduğundan incelendiğinde sorunun önemi daha net ortaya çıkmaktadır.

Kocaeli yaklaşık 1.7 milyon nüfusu ve hızla gelişen imkânlarıyla yoğun göç alan bir kente dönmüş ve özel araç sahiplik oranı da her geçen gün arttığı belirlenmiştir. Araç sahipliğinin artması yeni ulaşım yatırımları incelendiğinde motorlu araç sahipliğinin ve seyahat taleplerinin artması trafik sıkışıklığının artmasıyla orantılı bir yapı oluşturduğu anlaşılmıştır.

Trafik sıkışıklığının yüksek maliyetli ulaşım yatırımları ve kent formunu bozacak köpürülü kavşak çözümleri yerine, hemzemin kavşak çözümleri, sinyaline çözümler, akıllı ulaşım yönlendirmeleri, yoğunluk ölçümleri vb. trafik yönetim uygulamaları ile daha aza indirilebileceğini bazı ölçüm ve değerler ile ortaya koyulacaktır.

Kentlerde artan nüfus ile beraber kentlilerin erişilebilirlik sorunları ortaya çıkmıştır. Bu sorunun çözümü için kent yöneticileri teknik uzmanlar ile çözüm önerileri geliştirmektedir. Yaşanan teknolojik gelişmeler ve kentlilik bilincinin gelişmesi ile yolculuk davranışlarında çeşitlilikler olmaktadır.

Bu çalışma ile ulaşım sorunlarına getirilecek olan çözüm önerileri irdelenerek yapılacak olan yatırımların fayda maliyet karşılaştırması yapılacak olup alternatifler projeksiyon verileri de göz önünde bulundurulacaktır. Simülasyon modellerinin bilgisayar ortamında yapılarak öneriler ve mevcut durumu gerçek zamanlı karşılaştırma yeteneklerinin kullanılmasını sağladığından birbiriyle benzeşen ve ortak amaca hizmet eden programlar kullanılmaktadır. Kentlerde yaşanan trafik sorunlarının çözüm önerileri PTV Vissim yazılımı yardımıyla ortalama gecikme, toplam yolculuk mesafesi, toplam durma sayısı vb. kriterleri irdelenerek yapılacak olup çalışmanın alternatifler arası seçimlerde karar verme mercilerine destek olacaktır. Trafik sorunu yaşanan yerlerde geliştirilecek önerilerin karar verilmesi açısından da literatüre katkı sunması hedeflenmektedir.

Çalışma kapsamında örneklem üzerinden mevcut durum analizlerinin çıkarılması ve irdelenmesi yaşanan sorunların ortaya koyulması, üretilecek alternatiflerin değerlendirilmesi ve karşılaştırılarak çalışma alanı örnekleme için en iyi alternatif ortaya koyulmaya çalışılacaktır.

2. Literatür Taraması

Kentlerde nüfus artış hızı kişisel ve toplumsal tercihleri değiştirmiş olup altyapı ihtiyacı gibi dünya genelinde yaklaşımlar yeni ulaşım altyapılarının yapım politikalarını zorunlu kılmaktadır. (Doğru, Evren, 2017)

Ülkelerin ekonomik gelişimini ve refah seviyesinin göstergelerinden biri de ulaştırma. Erişilebilirliği arttıran sosyo-ekonomik imkan ve yararları oluşturan etkin ulaştırma sistemleri şehirler için fırsatlar oluşturmaktadır. Kentlerin nüfusunun artması, küreselleşme ve ekonomik büyüme ile paralel olarak kentlerin ulaşımı hızlı bir değişim göstermektedir. Her alanda olduğu gibi ulaşım alanında da yapılan bilimsel araştırmaların ve teknolojinin hızlı gelişimi ile konforlu, daha hızlı, güvenli ve kapasitesi yüksek ulaşım isteği de ön plana çıkmıştır. (Durna, Tosun, Yüksel, Demirkol, 2016)

Kentlerde bireysel araç sahipliğinin hızlı bir artış göstermesi ve kentlerin sosyo-kültürel yaşantısının gelişmesi sonucu işe yolculuk oranlarının giderek artması kentlerdeki ulaşım sorunlarını arttırmaktadır. Bunun sonucu olarak kent yöneticileri bireysel otomobil kullanımının yasaklanması, saat kısıtlamaları, yayalaştırma önerileri ve toplu taşıma yönlendirme gibi öneriler geliştirdiler de aynı önerileri sunan yetkililer karayolu ulaşımını destekleyen tünel, katlı kavşak ve yeni yollar açarak sorunu çözme gayreti içindedirler. (Öncü, 2013)

Kentlerin ulaşım sistemi seçiminde ekonomik etkinlik göz ardı edilmemesi gereken bir faktör olmasına karşın birçok ülkede kamu hizmeti ve sosyal politika aracı olarak görülmektedir. Ulaştırma hizmetinin planlaması ve fiyatlandırılmasında ekonomik etkinlik kısıtı dikkate alınmadığında kaynak israfı veya kaynakların etkin kullanılmaması, finansman yetersizliği ulaşım sistemlerinin değerlendirilmesinde çarpıklıklar gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. (Kabasakal, Solak, 2010)

Kamu yatırımları devletin genel kalkınma hedeflerini ve stratejilerini takip etmek için kullandığı temel politika araçlarıdır. Yapımı planlanan altyapı projeleri, mevcut sınırlı kaynaklar dikkate alındığında ülkenin genel kalkınma stratejisi ile uyumlu olmalıdır. Prensip olarak kamu; potansiyel altyapı projeleri için yatırım programı hazırlamalı ve bu programda yer alan proje listesini günün şartlarını göz önüne alarak nihai yatırımın gerçekleşmesinden önce sürekli olarak değerlendirmeye tabi tutmalıdır. (Yılmaz, 2019)

Üretilen çözüm alternatifleri arasında doğru karar verebilme yeteneğini arttırmak amaçlı maliyet, kur değişiklikleri, malzeme fiyatı değişiklikleri, ekonomik süreçlerin değişimleri ile yapılmaktadır. Birbirinden ayrıık gerçekleşen çok sayıda analiz karar verme aşamasında sonuçların değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır.

Trafik akımlarının değerlendirilmesi neticesinde günlük trafik hacmindeki doyunluk gün içerisinde farklılıklar gösterdiği veya önceden kestirilemeyen trafik sıkışıklıkları olan büyük kentlerde sinyal sistemlerinin gerçek zamanlı yönetilebilmeli ve fiziksel düzenleme yapılması önerilerini de çıkartılabildiği ileri düzey yardımcı tekniklere başvurulmalıdır. (Akbaş, İlecal, 1999)

Kocaeli kenti İstanbul'a yakın bir konumda ve İstanbul Ankara Karayolu ve raylı sistem bağlantılarının transit hattında bulunan, güçlü denizyolu bağlantılarına sahip, gelişmiş sanayisi ile ulusal ölçekte ülke ekonomisine katkı sağlayan, il sınırları içinde 1,9 milyonu geçen nüfusuyla öne çıkan önemli bir metropol karakteri sergilemektedir.

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin sınırları Kocaeli il sınırlarını kapsamaktadır. 3.418 km'lik büyükşehir sınırları içinde 12 ilçe bulunmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verilerine göre Kocaeli İl nüfusu 1.906.391 kişi, Kocaeli kenti merkez ilçesi olan İzmit ilçesinin nüfusu ise 371,002 kişidir (TÜİK, 2021).

Bu çalışmanın amacı, Kocaeli genelinde yapılan analizlere göre trafik sıkışıklığı ve sorunlarının gözlemlendiği Yeşilova Kavşağı özelinde ulaşım yatırımlarının trafik sıkışıklığına etkilerini trafik modellemesinde kullanılan PTV Vissim yazılımı yardımıyla analiz etmektir. İzmit kentinin Yeşilova bölgesinde Sekbanlı Kentsel Dönüşüm Bölgesi, Sepetçi Kentsel Dönüşüm Bölgesi, Kabaoğlu Kentsel Dönüşüm Bölgesi Projeleri devam etmektedir. Kentsel dönüşüm projeleri tamamlandığında artacak nüfusun trafik yüküne yapacağı etki ile mevcut durumdaki sorunlarının tespit edilerek saha gözlemleri ile trafik sayım verileri doğrultusunda tespit edilen sorunlarla ilgili ihtiyaç duyulan analizleri gerçekleştirerek çözümler üretilecektir. Mevcutta sinyalize olarak hizmet veren Yeşilova Kavşağı erişim ve trafik güvenliği açısından yetersiz durumda olup bu kapsamda yolun sınıfı ve fonksiyonu, projelendirme kriterleri, işletme performans düzeyi, trafik güvenliği, çevresel etkiler, yörenin sosyo-ekonomik yapısı ve kültürel özellikleri, trafik hacmi ve kompozisyonu ile kamulaştırma, yapım, bakım ve işletme maliyetleri gibi ayrıntılı mühendislik bilgileri ele alınmıştır.

Fayda Maliyet Analizi (FMA) ülkemizde ve dünyada ulaştırma projelerinin ekonomik değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan önemli bir karar verme tekniğidir. Ancak bu metod çok sayıda verinin analiz edilmesini gerektirmektedir. Bu sebeple doğasında yer alan ve sonuçları olumsuz yönde etkileyen belirsizlik etkisiyle başa çıkmaya ihtiyaç duymaktadır. Bir karayolu projesi veri eksikliği, gelecek yıllara ait tahminler, ekonomik belirsizlik vb. nedenlerden dolayı yüksek belirsizlik etkisine sahiptir. Geleneksel yaklaşımda söz konusu problemi çözmek için Duyarlılık Analizine (DA) dayalı bir risk analizi uygulanmaktadır. (Bağdatlı, 2016)

Simülasyon kelime manası olarak benzetme olarak geçmektedir fakat bilimsel olarak olaya bakacak olursak matematik, istatistik gibi belirli bir model kurmadığımız olayların özünü incelemek amacıyla konuyu suni olarak canlandırmaya, kağıda dökmeye, olay üzerinde kontrol kurma çabasının tamamına simülasyon denir (Aydın, 2007).

Simülasyon kullanmanın amacı hayatımızda meydana gelen her türlü doğal veya beşeri olayların sonucunda elde edilen sonuçları kullanarak tekrar karşılaşılabilecek senaryoları kurgulamaktır. Üretilen senaryoların değişiklikleri barajlarda biriken akarsuların getireceği su yükünün taşması sonucu oluşacaklar üzerine olabileceği gibi nükleer enerji santrallerindeki çevreye olan etkileri üzerine de olabilir. Trafik alanında yapılan simülasyonlar da diğer simülasyonlar gibi aynı amaca hedeflemektedir. Trafik simülasyonları, trafik ağlarının geliştirilmesi ve öneri durumların planlanmasında yardımcı olarak çokça kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Boz ve Gülgen, 2018).

Gelişen ve değişen ülkemizde insan hayatını etkileyen eteklerin ilk sıralarında ulaşım faktörü gelmektedir. Ulaşımın hareketlerinin ve araç sahipliğinin kentlerde artması ile beraber yakıt tüketimi, sera gazı emisyonu, trafik kazaları ve trafikte yaşanan gecikmelerden ötürü zaman kayıplarının artmasını beraberinde getirmiştir. Tüm bunların artması ile beraber hava kirliliği hem çevreyi hem de insan hayatını olumsuz yönde etkilemektedir. Kavşak çözümleri üzerine çalışan meslek gruplarının temel amaçlarından konfor ve güvenlik için kazaların azalması için kamu kurumları yoğun bir mesai harcamaktadır. Ulaştırma mühendisliği dalında plan ve düzenleme verimliliğini tahmin etmek önem arz etmekte olup farklı ulaştırma modları arasında ulaşım ağlarını analiz etmek için de mikro-simülasyon modellemeleri tercih edilmektedir. (Bayata ve Bayrak, 2018).

Son dönemde çözüm alternatiflerinin değerlendirilmesinde trafik simülasyonu, bir çok bilim dalında artarak daha popüler hale gelen bir analiz yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Uzmanlar, bilgisayar ortamında yapay deney ortamlarını simüle ederek farklı bilimsel sorunların çözümünü aramaktadırlar. "Fizibilitelerini ve doğruluğunu kanıtlamak veya çürütmek, bilimsel modelleri test etmek için bu simülasyon ortamlarını kullanırlar"(Akkaya ve Engin, 2022).

Trafik simülasyon yazılımları

- SUMO - Simulation of Urban Mobility,

Açık kaynaklı bir yazılım olan SUMO yazılımı TraCI modülü ile Python programlama dili kullanılarak simülasyon içerisinde tüm bileşenlere müdahale edebilmektedir. Sunuduğu çeşitlendirme özelliği sayesinde diğer simülasyon programlarına göre çok daha kolaydır (Boz, Gülgen, 2018).

- Aimsun, sürüm 6.0.4

AIMSUN, üç tür taşıma modelini tek bir yazılım uygulamasına entegre eder. Bunlar trafik atama modelleri, mezoskopik bir simülatör ve bir mikro simülatördür. Mikroskobik model, araba takip, şerit değiştirme ve boşluk kabul algoritmalarına dayalı olarak geliştirilmiştir (Akkaya ve Engin, 2022).

- Trafficware SimTraffic,

SimTraffic, sokak ağlarını modellemek için SYNCHRO programını kullanan mikroskobik bir simülasyon paketidir. Başlangıçta arteriyel sinyal sistemi zamanlamasını modellemek için geliştirilmiştir. Yüzeysel sokak ağlarını, otoyolları, örülme bölümlerini, önceden ayarlanmış ve çalıştırılan trafik sinyallerini, dur kontrollü kavşakları, döner kavşakları, toplu taşıma işlemlerini, yayaları vb. simüle edebilir (Akkaya ve Engin, 2022).

- PTV Vissim - Sürüm 9

VISSIM, ayrık, stokastik ve zaman adımına dayalı mikroskobik bir model olan bir trafik akış modeline dayanmaktadır. Model, sürücü-araç birimlerini tekil varlıklar olarak kabul eder ve uzunlamasına araç hareketi için psiko-fiziksel bir araba izleyen modeli ve yanal hareketler için kural tabanlı bir algoritma içerir (Akkaya ve Engin, 2022).

Sinyalize bir kavşakta sinyal programında yapılacak değişiklikleri yerinde uygulamadan önce simülasyonda test edilerek etkisi değerlendirilebilir. Mikrosimülasyon alanında yaygın olarak kullanılan programlardan birisi de VISSIM programıdır. VISSIM, kavşak analizi, ulaşım planlama ve operasyon açısından diğer programlara göre detaylı ve bir çok üstün analizler ortaya koyabilen bir mikro simülasyon programıdır.

3. Metodoloji

Çalışma kapsamında trafik sorunlarının çözüm önerileri hakkında mevcut durum analizleri yapılarak önerilerin birbiri ile ve mevcut durumla karşılaştırılarak en iyi alternatif tespit edilmeye çalışılacaktır.

Çalışma kapsamında Kocaeli ili İzmit İlçesi Yeşilova bölgesinde yer alan Yeşilova Kavşağı örneklem alan olarak belirlenmiştir. Kuzey-Güney aksında D605 Devlet Karayolu ile Yeşilova Mahallesi ile kesişen alanda yoğun konut ve ticaret bölgeleri ile transit trafiği barındıran kavşak alanında mevcut durum trafik sayımları, yaşanan sorunlar irdelenecek olup kavşak performansı ortaya koyulacaktır. Yaşanan sorunları gidermek için 2 adet alternatif karayolu projesi geliştirilecek olup bu alternatiflerin de kavşak performansı analiz edilecektir.

Tüm öneriler ve mevcut durum analizlerinin çıkartılmasının ardından detaylı bir şekilde karşılaştırma yapılacak olup Yeşilova Kavşağı bölgesinde yaşanan trafik sıkışıklıkları ve trafik güvenliği sorunlarını en aza indiren karayolu önerisi seçimi tespit edilmeye çalışılacaktır.

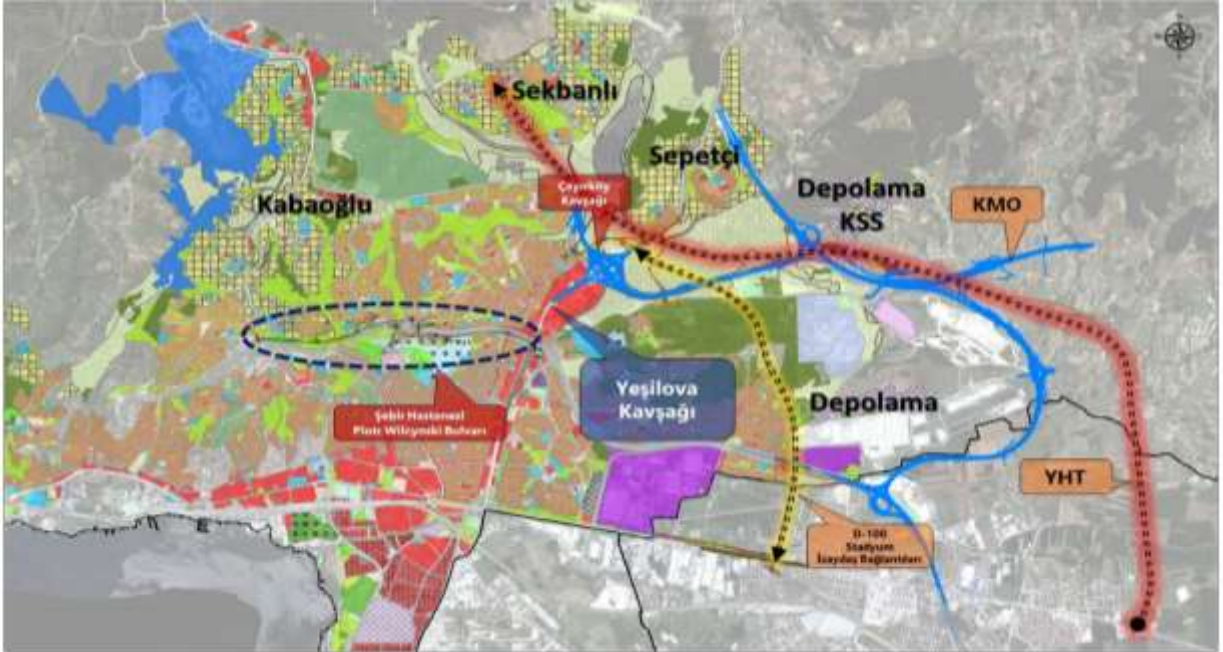
Sağlanan fayda ile proje yatırımlarının seçiminde uygulama süreçlerinde karar verici niteliğinde örnek olması ve simülasyon tekniklerinin kullanılmasına yönlendirmekte çalışmanın sağlayacağı faydalardan biridir.

4. Çalışma Alanı ve Yaşanan Sorunların İrdelenmesi

4.1. Çalışma Alanı

Karayolları Genel Müdürlüğü'nün projelendirdiği Kuzey Marmara Otoyolu'nun Çayırköy Kavşağı ile bağlantısını, Kabaoğlu, Sekbanlı ve Sepetçi Kentsel Dönüşüm Bölgelerinin ve D-605 Kandıra Otoyolu'nun İzmit ilçesi merkezi ile bağlantısını sağlayabilmek ve mevcuttaki bağlantılarını iyileştirmek adına başlatılmıştır. Şekil-1

Proje bölgesi İzmit ilçesinin Kabaoğlu, Sekbanlı ve Sepetçi Dönüşüm Bölgelerinin güneyinde Küçük Sanayi Sitesi Depolama Alanı'nın batısında, Bölge Hastanesi'nin kuzeydoğusunda İzmit Kent Merkezi'nin kuzeyinde yer alan bölgeyi tanımlamaktadır.



Şekil 1. Proje bölgesinin konumu (Kocaeli Nazım İmar Planı)

4.2. Yaşanan Sorunların İrdelenmesi

Çalışma alanı incelendiğinde (Şekil 2) ulaşım bakımından en mühim sorunlardan birinin kavşağın dört kolundan da gelen trafik akımının yoğun olması ve sinyalizasyon kavşakla düğümlenmesidir. Bu ana bağlantının yakınına büyük yatırımlar yapılmış olması ve gelecek ek trafik yüküyle kapasitenin yetersiz kalması tehlikesidir.

Şekil 3'ün incelenmesi neticesinde; proje bölgesindeki mevcut durumda ortalama gecikme süresinin 1.26 dk, ortalama durma süresinin 2.45 dk, ortalama durma gecikmesinin 0.92 dk, ortalama hız 17.12 km/s olduğu gözükmektedir.



Şekil 2. Proje bölgesinin konumu

Yeşilova Kavşağı'nda mevcut durumdaki durma süresi ve ortalama hız değerleri incelendiğinde trafik yoğunluğu açısından büyük problemler yaşanmakta olduğu gözükmektedir. D-605 ve D-130 Karayolu koridorunda Kandıra ilçesi ile Gölcük ilçesi arasındaki güzergahtaki tek sinyalizasyon kavşak olması da projenin uygulanmasının önemini vurgulamaktadır.



Şekil 3. Proje Bölgesinin Mevcut Durumu

4.3. Sorunların Tespiti ve İrdelenmesi

Şehirler planlanırken kent içerisindeki arazi kullanımlarının oluşturacağı trafik üretim ve çekim yükleri hesaplanarak yeni yol ağları da oluşturulmaktadır. Yani nazım imar planları oluşturulurken yol ağları arasında bir kademelenme oluşturulur ve buna göre yolların tipleri, yönleri ve kapasiteleri belirlenerek erişimi sağlanması amaçlanır.

Uygulanmış veya önerilen farklı dolaşım planları bulunmakta ve şehirlerin arazi kullanımı ile yapılarına göre bir veya birkaç farklı tür dolaşım sistemi bir arada kullanılmaktadır. Örneğin yoğunlukla kent merkezi alanlarında tercih edilen yön uygulamalarını kapsayan dolaşım şemaları, toplam yolculuk mesafeleri ve kesitte ortalama yolculuk hacimlerini arttırmasına rağmen yol ağları üzerindeki kesişme sayısı azaltarak ortalama yolculuk sürelerinde iyileştirmeler sağlanmaktadır.

Dolaşım şemasının oluşturulmasında bisiklet yolları, yayalaştırma, toplu taşıma güzergâhları, özel araç sirkülasyonu ve otopark konumları ile ilgili kararlar göz önünde bulundurularak gerekli düzenlemeler yapılmıştır.

Çalışma bölgesi Kocaeli'nin Kandıra ilçesini diğer ilçelere bağlayan bir bağlantı görevi görmektedir. Dolayısı ile D-605 Karayolu ile D-130 Karayolu arasındaki sinyalize olarak kalan tek kavşak olup güzergahın performansının düşmesine sebep olmaktadır. Güzergahın sürekliliğinin sağlanması için bu kavşağın düzenlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bölgede artacak konut ve ticaret kullanımı bu kavşağın sinyalize olarak hizmete devam etmesi durumunda hizmet seviyesini düşürecektir. Bölgede kullanımların çeşitli olması ve planlanan yeni yatırımlar nedeniyle yolculukların kendi güzergâhlarına erişimlerinin daha hızlı bir şekilde sağlanması için bağlantıların güçlendirilmesi gerektiği öngörülmektedir.



Şekil 4. Proje Bölgesinin Trafik Sayımları

Şekil 4 de proje bölgesinde kavşak üzerinde yapılan trafik sayımları ve simülasyona girilen değerler bulunmaktadır. Trafik sayım verilerinin incelenmesi neticesinde trafik akımının Kol-1 yönünden Kol-2 yönüne 696 araçla olduğu gözükmektedir. Sonra sırasıyla Kol-2 yönünden Kol-1 yönüne, Kol-3 yönünden Kol-2 yönüne ve Kol-2 yönünden Kol-3 yönüne olduğu gözükmektedir. D605 Karayolu olarak adlandırılan İzmit-Kandıra erişimine imkan sağlayan ana arterde yoğun trafik hacmi olmasına rağmen, Kol-2 den Kol-3 e ve Kol-1 den Kol-4 e olan dönüşlerin transit trafiğin ilerlemesinde de gecikmelere sebep olmaktadır. Kent içi erişimler ile transit erişimlerin etkileşiminin göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

Kente ilişkin olarak üst ölçekte hedeflerin ve stratejilerin belirlendiği Kocaeli Ulaşım Ana Planı çalışması 2015 yılında tamamlanmış ve onaylanmıştır. Planlama hiyerarşisi kapsamında üst ölçekli kararlar uygulama ölçeğine yaklaştıkça alınan bu kararlar detaylı olarak irdelenmektedir.

Bu doğrultuda, mevcut çalışmanın amacı, Kocaeli Ulaşım Ana Planı'nda alınan üst ölçekli kararların detaylı analizlerini ve etütlerini gerçekleştirerek mevcut güncel kullanımları da göz önünde bulunduran çözüm alternatifleri geliştirmektir.

Projeksiyon yılında da mevcut durumda olduğu gibi Şekil 5 de görüldüğü üzere D-130 ve D-605 Karayolu'nda çok yoğun bir trafik oluşacağı ve herhangi bir yatırım yapılmadığı takdirde kapasite açısından yetersiz kalacağı öngörülmektedir. Bu kesimde D-605 Karayolu'nda sabah zirve saatte tek yönde yaklaşık 4,900 araç olması beklenmektedir. (KUAP 2014)



Şekil 5. Projeksiyon Yılında Bölgedeki Trafik Durumu (KUAP 2014)

Bölgede projeksiyon yılında oluşması öngörülen ekstra trafiğin sağlıklı bir şekilde yönetilebilmesi adına İzmit Sektöründe bu doğrultuda yatırım yapılması öngörülmektedir. Bölgede karayolu ve raylı sistem yatırımları ile yaşanacağı öngörülen problemlerin önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Proje çalışmaları devam eden KHRS (Kuzey Hafif Raylı Sistem Hattı) ve Üniversite Hafif Raylı Sistem hattı yanı sıra işletme altındaki Otogar-Plajyolu Tramvay hattı çalışma bölgesi yakınındaki raylı sistem yatırımlarıdır. Çalışma bölgesinin yakınında yer alan Çayırköy Kavşağı ve Şehir Hastanesi Kavşağı Projeleri tamamlanmış olup İzaydaş-Stadyum Arası İmar Yolu Düzenlemesi ve Kavşak Projesi Piotr Wilczynski Bulvarı Projelerinin çalışmaları devam etmektedir. (KBB Ulaşım Proje Envanteri)

Ulaşım Ana Planı kararlarından anlaşılacağı üzere Karayolu Bağlantı Yolu üzerindeki çalışma alanındaki kavşak, bölgesel gelişmeler ile birlikte revize edilerek oluşacak projeksiyon trafiğine hizmet edecek hale getirilmelidir.

4.4. Çözüm Önerilerin Karşılaştırılması

İzmit ilçesi Yeşilova Bölgesinde dört kollu sinyalize kavşağın yarattığı sorunlar yerinde yapılan analizler ile tespit edilen mevcut sorunların çözümüne ilişkin olarak iki farklı çözüm önerisi ile alternatifler geliştirilmiş ve Yeşilova Bölgesindeki kavşak üzerindeki sorunlara çözümler üretilmiştir. Karayolu öneri projeleri transit trafik ile kentiçi trafiğini birbirinden ayırarak daha güvenli bir yol ağı oluşturmak hedeflenmiş olup kuzey güney yönlü yoğun akımın kesintisiz bir şekilde devam etmesi ve konut ile ticaret fonksiyonlarının yer aldığı doğu-batı güzergahındaki dönüşleri de trafikte yaşanan gecikmelerin önüne geçecek şekilde tasarlanmıştır. Kuzey- güney yönlü trafiği kesintisiz bir şekilde devam ettirmek doğu-batı yönündeki trafik akışını güvenli bir şekilde sağlamak amacıyla karayolları tasarım el kitabı tasarım kriterleri doğrultusunda projelendirilmiştir.

4.4.1. Alternatif 1

Alternatif 1'de Yeşilova Kavşağı'nın kuzeyinde ve güneyinde firkete kavşak düzenlenmiş ve kavşağın batısında ise dönel kavşaktan önce erken dönüş önerilmiştir.



Şekil 6. Alternatif 1. Proje

Şekil 6 da yer alan bu projeye birlikte kuzeyde 2 şeritli, güneyde ise tek şeritli firkete kavşaklar yapılmıştır. Karadenizliler Mahallesi için dönel kavşak tasarlanmıştır. Karadenizliler Mahallesi ve Yeşilova Mahallerine ulaşılacak yollar gidiş-geliş olarak çift şeritli olarak tasarlanmış erken U dönüşten sonra Yeşilova Mahallesi'ne doğru yol tek yöne çevrilmiştir. Transit trafik 2X2 şeklinde tasarlanmıştır. Bu alternatif kesişen trafik akımlarını en aza indirmek amaçlanmış olup transit trafiğin seyrettiği D605 Devlet Karayolu üzerindeki sinyaller kaldırılmış ve ortalama hız, ortalama gecikmelerdeki değişim gözlenmiştir.

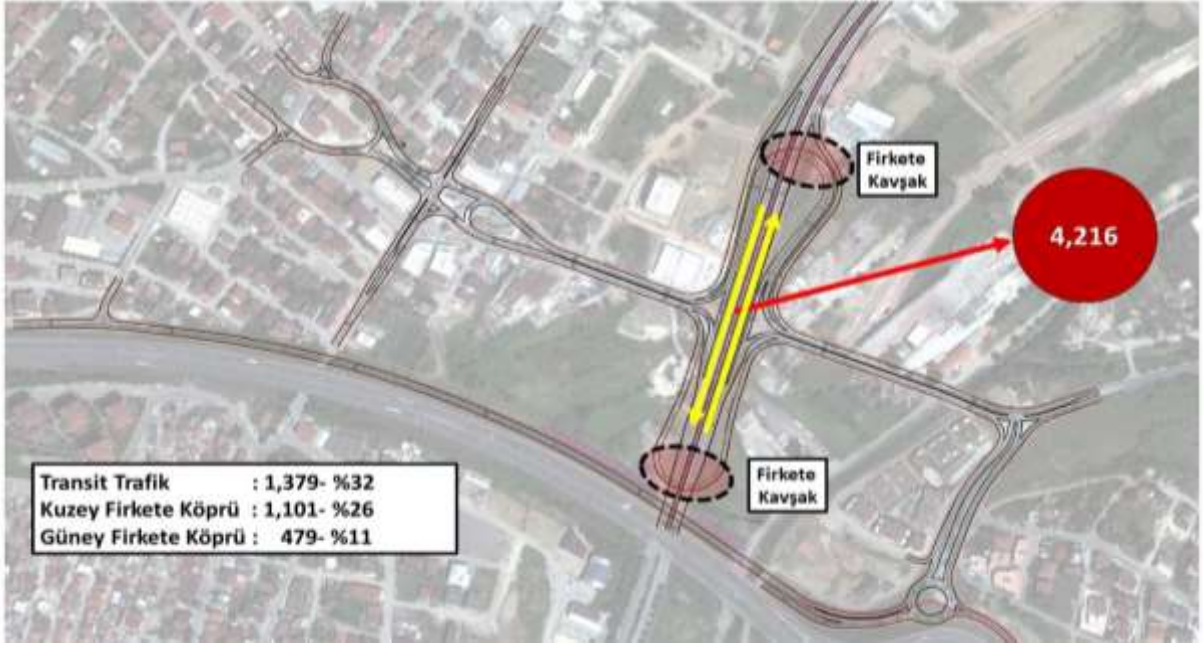


Şekil 7. Alternatif 1 Trafik Simülasyonu

Şekil 7 de yer alan alternatif 1 projesinin trafik simülasyon sonuçlarında renkler hız değişimini, genişlik ise hacim değişimini göstermektedir. Buna göre 50 km altında hızın sadece kavşak yaklaşımlarının da olduğu ortalama kuyruk mesafesinin 24 metre, ortalama gecikmenin 28 olduğu toplam sisteme dahil olan araç sayısının 2331 birim otomobil olduğu analiz çalışmasında sistem performansının C seviyesi olduğu görülmüştür.

4.4.2. Alternatif 2

Alternatif 2' de ise Yeşilova Kavşağı'nın kuzeyinde ve güneyinde firkete kavşak tasarlanmıştır. Karadeniz Mahallesi'ne erişim için dönel kavşak önerilmiştir. Ayrıca Yeşilova girişinde erken u dönüş tasarlanmış Yeşilova'nın merkezindeki yolların tasarımında da değişiklik önerilmiştir.



Şekil 8. Alternatif 2. Proje

İki nolu alternatif proje de (Şekil 8) yapılan iki adet firkete kavşak ile İzmit-Kandıra yolundaki trafik akıcılığı engellenmemiş olup Karadenizliler Mahallesinden gelenler için kuzeyde yapılan iki şeritli firkete kavşak ile Yeşilova Mahallesine gidiş ve İzmit yönüne gidecekler içinde u dönüş tasarlanmıştır. Yeşilova Mahallesinden gelenler için güneyde yapılan tek şeritli firkete kavşak ile Karadenizliler Mahallesine gidiş tasarlanmıştır.



Şekil 9. Alternatif 2 Trafik Simülasyonu

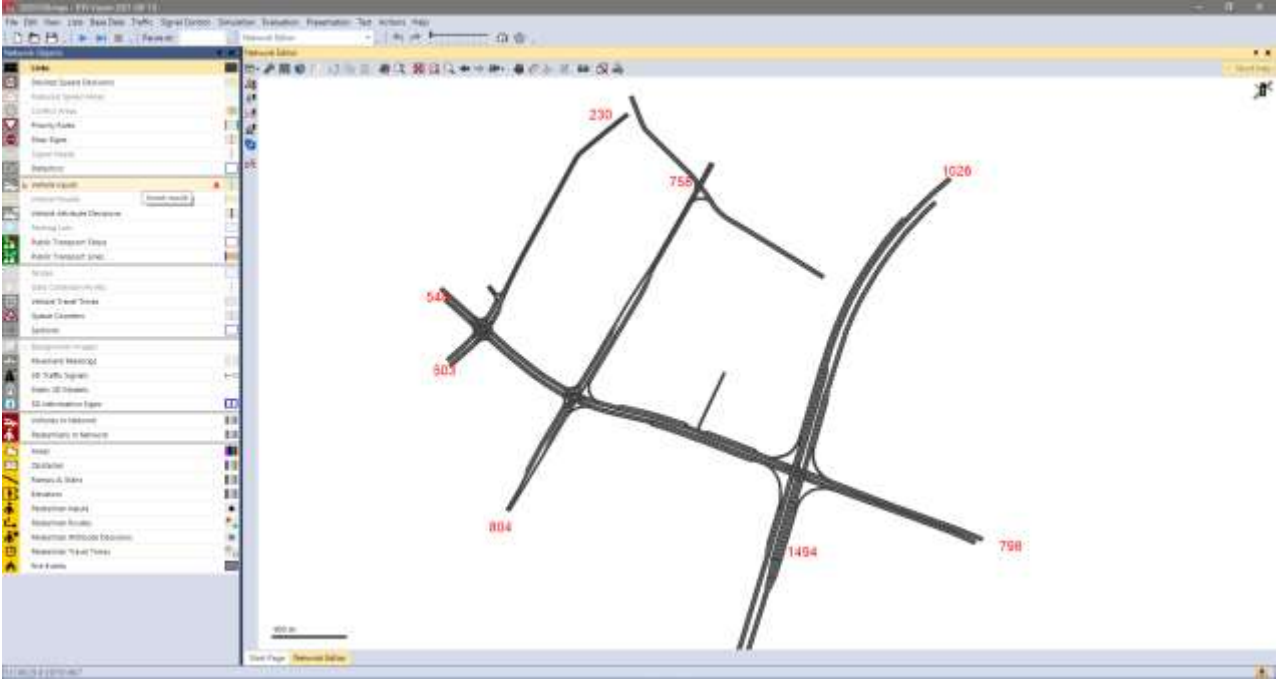
Şekil 9'daki trafik simülasyonu üzerindeki renkler araç hızlarını ifade etmektedir. Yapılan firkete kavşaklar ile İzmit-Kandıra yolundaki, Karadenizliler ve Yeşilova Mahallerinden geliş kısımlarındaki araç hızlarının Şekil 3 de gösterilen mevcut duruma göre arttığı gözlemlenmektedir. Simülasyon genel hizmet seviyesinin ise B seviyesinde olduğu görülmüştür.

5. Sonuç ve Öneriler

5.1. Bulgular

Geliştirilen alternatif önerileri değerlendirecek olursak Alternatif 1'de D-605 Karayolunun kuzey ve güney tarafında iki adet firkete kavşak yapılarak alternatif yönlere dönüşler sağlanmıştır. Alternatif-2 seçeneğinde ise D-605 Karayolu üzerinde iki adet firkete kavşak yapılarak dolaşım sağlanmış ayrıca Yeşilova Caddesi üzerinde erken U dönüşü getirilmiş ve Karadenizliler Mahallesiine ulaşmak için döne kavşak tasarlanmıştır.

PTV Group Vissim yazılımı kabiliyetiyle Yeşilova Kavşağı mevcut şekliyle koridor olarak olduğu şekliyle yolların özellikleri ile beraber (linkler) çizilerek modeli kurulmuş yolların resmi hız verileri, dönüş öncelikleri, sinyal planı ve mevcuttaki trafik hacimleri gibi bilgileri sisteme girilmiştir



Şekil 10. PTV Group Vissim Trafik Hacimlerinin Girilmesi

Koridor üzerindeki kavşakların (cycle time, reduce speed, vehicle input, piortiy rulues) gibi toplam sinyal süresi, faz planı, kavşak dönüş kuralları, hızları, bölgelerden sisteme dahil olan araç sayıları da aynı şekilde simülasyona girilmiştir. Şekil 10 da sisteme yapılan sayım değerleri girildiği görülmektedir. Bu şekilde gerçeğe en yakın modeli yansıtan mikro simülasyon modeli çalıştırılarak mevcut durum analizleri ortaya koyulmuştur. Cycle Time (Toplam sinyal süresi) 120 sn olarak kollara dağıtılan sinyal süreleri aşağıdaki gibidir. (Şekil 11)



Şekil 11. PTV Vissim Sinyal Faz Planlarının Sisteme Girilmesi

Önerilen 2. Alternatifte PTV Vissim yazılımı marifetiyle analiz edilmiş ve sonuçları sadeleştirilerek Tablo 1'deki gibidir. Alternatifler incelendiğinde 1. öneride ortalama gecikme süresi 12,99 sn, ortalama hızın 40,58 km/h, toplam gecikme 19,42 sn, ortalama durma araç başına 0,88 olduğu görülmektedir. 2. öneride ise; ortalama gecikme 10,63 sn, ortalama hız 43,94 km/h, ortalama durma gecikmesi 0,29 sn, toplam gecikmesinin ise 18,21 sn olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 1. Alternatif Projelerin Karşılaştırılması

| Ağ Analizi | ALT.-01 | ALT.-02 | BİRİM |
|--------------------------|---------|---------|-----------|
| Ortalama Gecikme | 12.99 | 10.63 | (sn/araç) |
| Ortalama Durma | 0.88 | 0.29 | Araç/adet |
| Ortalama Hız | 40.58 | 43.94 | (km/sa) |
| Ortalama Durma Gecikmesi | 3.41 | 4.35 | (sn/araç) |
| Toplam Seyahat Mesafesi | 4625.81 | 5296.94 | (km) |
| Toplam Seyahat Süresi | 113.99 | 120.54 | (sn) |
| Toplam Gecikme | 19.42 | 18.21 | (sn/araç) |
| Toplam Durma Gecikmesi | 5.1 | 0.49 | (sn) |
| Aktif Araç | 128 | 140 | adet |
| Erişmiş Araç | 5254 | 6028 | adet |
| Hesaplanmamış Gecikme | 88.774 | 0.217 | (sn) |
| Hesaplanmamış Araç | 166 | 0 | adet |

Tablo 2. Kavşak Hizmet Düzeyleri

| Karşılaştırma | ALT.-01 | ALT.-02 | BİRİM |
|-------------------------|----------------|----------------|-----------|
| Ortalama Gecikme | 12,99 | 10,63 | (sn/araç) |
| Ortalama Hız | 40,58 | 43,94 | (km/sa) |
| Toplam Seyahat Mesafesi | 4625,81 | 5296,94 | (km) |
| Toplam Kamulaştırma | ₺43,307,715.00 | ₺44,287,930.00 | TL |
| Toplam Yapım Maliyeti | ₺53,186,800.00 | ₺49,000,000.00 | TL |

| Sinyalize Kavşaklar için Hizmet Seviyesi Kriterleri | | Sinyalize Olmayan Kavşaklar için Hizmet Seviyesi Kriterleri | |
|---|-----------------------|---|-----------------------|
| Hizmet Seviyesi | Ortalama Gecikme (sn) | Hizmet Seviyesi | Ortalama Gecikme (sn) |
| A | ≤10 | A | 0-10 |
| B | >10-20 | B | >10-15 |
| C | >20-35 | C | >15-25 |
| D | >35-55 | D | >25-35 |
| E | >55-80 | E | >35-50 |
| F | >80 | F | >50 |

Şekil 1. Kavşak Hizmet Düzeyleri (Chater 35. Capacity And Level Of Service)

2 nolu tabloda sinyalize ve sinyalize olmayan kavşaklar için hizmet seviyesi kriterleri verilmiştir. İncelenmekte olan kavşakta üç nolu şeklin incelenmesi neticesinde hizmet seviyesinin E olduğu gözükmektedir. Yapılan alternatif projeler ile kavşağın hizmet seviyesi 1 nolu alternatif proje ile C seviyesine, 2 nolu alternatif proje ile B seviyesine geldiği anlaşılmaktadır.

5.2. Tartışma

Karşılaştırılan alternatifler incelenmesinde hizmet seviyelerinin yanında kamu kuruluşlarına getirecek olduğu kamulaştırma maliyetleri de göz önüne alınmıştır. Çalışma yapılan alanın çevresi incelendiğinde konut alanları, ticaret alanları ve sanayi bölgelerini kapsamaktadır. Alanı çevreleyen her üç arazi kullanımının da trafik çekim ve üretimleri yüksek olduğu görülmektedir. Bölgesel erişim yolları ile kesişen bir alanda olması hasebiyle de sinyalize bir kavşak olarak hizmet vermesinin de mümkün olmadığı tespit edilmiştir. Zira bölgenin yakın çevresinde Kuzey Marmara Otoyolu ve Tem Bağlantı Otoyolu bağlantısı ile kandıra yolu kesişiminde yer aldığı yaklaşık 100000 aracın bu bağlantı kollarından giriş yapacağı tahmin edilmektedir.

Çalışma yakın çevresinin şehir hastanesi gibi bölgesel gelişimler de göz önüne alındığında Yeşilova kavşağının mevcut haliyle hizmet veremeyeceğini göstermektedir.

Trafik sorunlarının yaşandığı alanlarda simülasyon teknikleri gibi gelişmiş ileri seviye teknolojik programların yaygın olmadığı zamanlarda geliştirilen çözüm önerileri yine bilimsel genel araştırma sonuçları kapsamında oluşturulan karayolları tasarım kriterleri kullanılarak kavşak çözüm tipileri seçilerek yapılıyor olması sınırlı sayıdaki ve projeksiyon verileri göz ardı edilerek yatırım yapıldığından kamu kaynaklarının doğru yere ve doğru zaman projeksiyonunun da kullanılmasını engelleme ihtimalleri bulunmaktaydı. Kentlerdeki seyahat çeşitlilikleri ve sayılarının artmasıyla mikro ölçekte gelişmiş simülasyon teknikleri ile doğru karar ve doğru yatırım kararı alınmasına gerçek zamanlı veriler ışığında karar verilmesi sağlanmıştır.

Kamu yararına uygulanması gereken alternatif 2' nin simülasyon değerlerinde sistemin tamamında ortalama hız 43,94 km/saat olarak seyredeceği, araç başına ortalama gecikmelerin ise 10,63 saniye olacağı belirlenmiştir. Simülasyon sonunda sistemdeki araçların hepsi rotasını tamamlayabilmiştir. D-605 Karayolu Kuzey Marmara Otoyolu Bağlantısı üzerinde oluşması öngörülen trafik yoğunluğunun gerçekleşmesinden önce aksiyon alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Yukarıdaki Tablo 3 incelendiğinde 1. ve 2. düzenleme önerilerinin karşılaştırmaları yer almaktadır. Mevcut duruma göre ortalama gecikmeleri baz alacak olursak 1. düzenlemede 12,99 sn, 2. Düzenlemede 10.63 sn ye gerilediği görülmüştür.

İki alternatif de mevcut durum trafik sirkülasyonuna katkı sağladığı ve mevcut durum analizlerinden elde edilen sonuçlara göre de koridor boyunca düzenleme yapılması gerekliliğini net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Simülasyon tekniklerinin kullanılması geliştirilen çözüm önerisinin yerinde uygulamalar yapılmadan önce ortaya çıkacak sonuçların incelenmesine fayda sağlamaktadır. Bu yöntemin kullanarak detaylı bir şekilde önerilerin trafik güvenliğinin artması, gecikmelerin azalması, durma sayılarının azalması ve toplam seyahat mesafesi gibi parametlerin değerlendirmesi ile aynı zamanda çevreye salınan azot ve sera gazı emisyonlarının azalmasında ki etkiside gözlemlenebilmektedir. Kentlerdeki sınırlı kaynakların doğru çözüm önerisine yatırım yapılmasına da yön veren bu uygulamaların tüm kentlerde uygulanmasına örnek teşkil edecektir. Gelişen ve değişen dünyada çözüm önerilerinin mevcut durum ile karşılaştırma yapabilme imkanı sağlaması verimli olsa da gerçek zamanlı oranının teknolojinin de gelişmesiyle daha gerçekçi durumları da ortaya koymak adına gelişen versiyonların kullanılmasında fayda olacaktır. Sürücü davranışının da kentlere göre değişkenlik gösterdiği düşünüldüğünde bu verilerin de sistemler üzerinden girilebilmesi aynı zamanda

sayım verilerinin ve makro ölçekli planların da birbiri ile entegre çalışması ile ortaya çıkan sonuçların yatırım kararlarına sunacağı katkı artacaktır.

Trafik sorunlarını yaşadığı kavşak bölgelerinin çözümlerinde değerlendirme kriterlerinde kamulaştırma ve yapım maliyetlerini de göz önünde bulundurarak en yapılabilir ve fizibil çözüm getiren alternatifinin seçilmesi birçok kısıtası içerisinde barındırmakta olup çözüm yatırımlarının kıyaslanması sürecinin iyi değerlendirilmesi gerekliliğini göstermektedir.

Kocaeli arazi fiyatları belediye verilerinden elde edilmiş olup proje yaklaşık maliyetler piyasa fiyatları kullanılarak yaklaşık bir maliyet ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Kamu kaynaklarının en iyi şekilde yönetilmesi açısından önerilerin kente sağlayacağı katkının süresi göz önünde bulundurularak hareket edilmesi kamu yararına olacaktır.

Alternatifler arasında seçim yapılırken kentlerin gelecekteki gelişim süreçleri göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Çözüm üretilen bölgenin, projeksiyon trafik hacimleri, gerçek ihtiyaçları, kamulaştırma-yapım maliyetleri ve yatırım öncelikleri değerlendirilmelidir. Gerek duyulması halinde kamu kaynaklarını en doğru şekilde kullanmak adına kısa-orta-uzun vade çözüm önerilerinin kıyaslanması gerekmektedir. Bu şekilde yapılması en doğru yatırımın, doğru zamanda yapımına başlamasına hem de bölgede yaşanan sorunların çözümüne katkı sağlayarak şehirlerin gelişimine çevresel ve yaşanabilir şehirler açısından oldukça katkı sağlayacağı gibi şehirlerin gelecek nesillere aktarımı noktasında da oldukça önemlidir.

Kaynaklar

- Bağdatlı, M.E.C. (2016) Karayolu Projelerinin Fayda Maliyet Analizleri İçin Risk Eklentili Yeni Bir Bulanık Bilişsel Harita Modeli
Yılmaz, S. (2019) Türkiye’de Karayolu Altyapı Yatırımlarının Ekonomik Değerlendirilmesi ve Önceliklendirilmesi
Kocaeli Ulaşım Ana Planı, (2014)
Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK] (2021). “İlçe Nüfus İstatistikleri”
Kabasakal, A., Solak, A.O. (2010) Demiryolu ve Karayolu Ulaştırma Sistemlerinin Ekonomik Etkinlik Analizi
Akbaş, A., İlecal, M. (1999) Kent İçi Karayolu Trafikinin Optimasyonu İçin Sinyalize Kavşakların Gerçek Zamanlı Kontrolü
Öncü, E. (2013) Kent İçi Ulaşımında Karar Süreçleri ve Karar Ölçütleri
Durna, T., Tosun, H., Yüksel, Y., Demirkol, İ. (2016) Karayolları 5. Trafik Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi
Doğru, Ş., Evren, G. (2017) Ulaştırma Yatırımlarının Finansmanı
Chapter, Capacity of Level Of Service, Nptel May 3, 2007