

YAYINCI
PUBLISHER



MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ve TASARIM DERGİSİ

**JOURNAL OF ENGINEERING
SCIENCES AND DESIGN**

e-ISSN: 1308-6693

Cilt/Volume: 8 Sayı/Issue: 3 Eylül/September 2020



Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi editörlüğünde ve ULAKDİM DERGİPARK ev sahipliğinde yayımlanan Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi (MBTD) yayın hayatına 2010 yılında başlamıştır. Mart, Haziran, Eylül ve Aralık Nisan, Ağustos ve Aralık aylarında olmak üzere yılda 4 sayı şeklinde yayım yapan uluslararası hakemli bir dergidir.

Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi (MBTD), TÜBİTAK-ULAKBİM-DERGİPARK sistemine kabul edilmiştir. Dergi, TÜBİTAK-ULAKBİM Mühendislik ve Doğa Bilimleri Veri Tabanı (TR-DİZİN), Google Scholar ve alan indeksi olarak EBSCOHOST tarafından indekslenmektedir.

Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi (MBTD) yayın dili Türkçe ve İngilizce olan araştırma makalesi, derleme ve çeviri türünden metinleri, yazım kurallarına uygun hazırlanmış olması koşuluyla internet üzerinden değerlendirmeye kabul eder. Değerlendirilmek üzere dergimize gönderilen metinlerin, daha önce yayınlanmamış, yayınlamak üzere kabul edilmemiş ve yayınlanmak için değerlendirme sürecinde olmaması gerekir. Değerlendirme sürecinde olan ve yayınlanan eserlerin sorumluluğu tamamen yazarlara aittir. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi (MBTD) internet üzerinden e-dergi şeklinde yayınlanır ve değerlendirme süreci elektronik ortamda çift-körleme yöntemiyle takip edilir. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi (MBTD)'nde yayınlanan tüm eserlerin yayın hakkı Süleyman Demirel Üniversitesi'ne aittir.

Journal of Engineering Sciences and Design (JESD) supported by Suleyman Demirel University Engineering Faculty, and hosted by ULAKBİM DERGİPARK, a national refereed journal, has been in publication since 2010 The journal will be published four times in a year as March, June, September, and December.

Journal of Engineering Sciences and Design (JESD) has been accepted for TUBITAK ULAKBİM DERGİPARK system in order to provide on-line journal management. JESD is now indexing by TUBITAK-ULAKBİM Engineering and Natural Sciences, Google Scholar, and EBSCOHOST.

Although the language of the journal is Turkish, manuscripts prepared in English is also welcome. JESD accepts and publishes on on-line open journal system manuscripts prepared as research paper, literature reviews, and translated articles as long as they are in accordance with the journal's writing guidelines. Manuscripts, which have been published previously, accepted for publication, or currently being considered for publication elsewhere, will not be considered for publication. The authors are solely responsible for the ideas and opinions expressed in the articles, of which Suleyman Demirel University cannot be held responsible. The Journal of Engineering Sciences and Design (JESD), is electronically managed, double-blinded journal from the submission of manuscripts to the publication. Suleyman Demirel University holds the copyright of all published material that appear in JESD.

İçindekiler / Contents

Araştırma Makalesi / Research Articles

<i>PREPARATION OF DOPED TiO₂ PHOTOCATALYSTS AND THEIR DECOLORIZATION EFFICIENCIES UNDER SOLAR LIGHT</i>	655-663
Dila KAYA, Nazlı TÜRKTEKİN	
<i>PHOTOCATALYTIC ACTIVITY OF IN-SITU Fe-DOPED TiO₂ FOR NATURAL ORGANIC MATTER REMOVAL</i>	664-670
Nazlı TÜRKTEKİN, Ceyda Senem UYGUNER DEMİREL	
<i>VALIDATION OF THE GREEN'S FUNCTIONS RETRIEVED FROM AMBIENT NOISE BY ANDIRIN EARTHQUAKE IN THE ADANA BASIN</i>	671-676
Taciser BAKIRCI	
<i>KONUT SATIN ALIMINDA ALTERNATİF BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ</i>	677-691
Emrah AYDEMİR, Cemal AKTÜRK, Mehmet Ali YALÇINKAYA	
<i>USE OF AGILE AND OPEN INNOVATION APPROACHES IN EXECUTING THE PROJECTS: A FIELD STUDY ON PROJECT MANAGERS</i>	692-702
Ahmet ÇUBUKCU	
<i>ORTA ANADOLU BÖLGESİ ATMOSFER-KABUK ARA YÜZEYİ KABUK YOĞUNLUĞUNUN FRAKTAL BOYUTLAR İLE BELİRLENMESİ</i>	703-711
Ezgi ERBEK, Erdiç ÖKSÜM, M.Nuri DOLMAZ	
<i>A VERIFICATION ANALYSIS FOR PILES IN LIQUEFIABLE SOIL</i>	712-719
Pınar ÖZTÜRK KARDOĞAN, Nihat IŞIK	
<i>HAYVANSAL VE BİTKİSEL ATIKLAR KAYNAKLI BİYOKÖMÜR ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: MALATYA İLİ ÖRNEĞİ</i>	720-727
Nesrin DURSUN	
<i>BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ DEPARTMANINDA KULLANICILARIN TALEPLERİNE CEVAP VERME SÜRESİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TAHMİN EDİLMESİ</i>	728-739
Kerim Kürşat ÇEVİK, Mehmet KAYAKUŞ	
<i>TÜRKİYE ERKEKLER BASKETBOL LİGİ MAÇ SONUÇLARININ MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİ İLE TAHMİNİ</i>	740-752
Engin ÖZDEMİR, Serkan BALLI	
<i>KAŞ (ANTALYA) KIYI BÖLGESİNİN MİKROBİYOLOJİK KİRLİLİK DEĞERLENDİRMESİ</i>	753-765
Şehnaz ŞENER, Erhan ŞENER, Simge VAROL	
<i>A BI-LEVEL ALGORITHM PROPOSAL FOR THE INITIAL PLANNING OF FEEDER BUS ROUTES</i>	766-776
Hassan Shuaibu ABDULRAHMAN, Mustafa ÖZUYSAL	
<i>DESIGN AND PROPERTIES OF COMPOSITE SUSTAINABLE BUILDING MATERIAL BY USING WASTE HDPE</i>	777-782
Hamit ÖZYURT	
<i>SAMPLE ENTROPY ANALYSIS OF HEART RATE VARIABILITY IN RR INTERVAL DETECTION</i>	783-790
Veysel ALCAN	
<i>PARALLEL K-MEANS CLUSTERING WITH NAİVE SHARDING FOR UNSUPERVISED IMAGE SEGMENTATION VIA MPI</i>	791-798
Ahmet Esad TOP, Fahreddin Şükrü TORUN, Hilal KAYA	
<i>VAN İKLİM ŞARTLARINDA SU KAYNAKLI VE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ BİR ISI POMPASI İLE SERA ISITMA SİMÜLASYONU</i>	799-807
İrfan UÇKAN, Emre ARPACI	
<i>ÜSTTEN AKIŞLI KAPAK AKIMININ SAYISAL MODELLEMESİ</i>	808-819
Oğuz ŞİMŞEK	
<i>GEOPOLİMER HARÇLARDA ZEOLİT KATKISININ ETKİSİ</i>	820-832
Mehmet Cemal ACAR, Ahmet ŞENER, Ahmet ÖZBAYRAK, Ali İhsan ÇELİK	
<i>MOTOR YÜKÜNE BAĞLI OLARAK BİYODİZEL YAKITLI BİR DİZEL MOTORUN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ</i>	833-843
İbrahim YILDIZ, Hakan ÇALIŞKAN	
<i>AKUSTİK DALGALARIN FARKLI ORTAM YÜZEYLERİNDEKİ BASINÇ VE HIZ ETKİLERİNİN FDTD METODU İLE ÇÖZÜMLENMESİ</i>	844-855
Turan ÇAKIL, Hamza CARLAK, Şükrü ÖZEN	

<i>OKUL ÖNCESİ DÖNEM ÇOCUKLARINA OYUNLAŞTIRMA İLE ALGORİTMA EĞİTİMİ VERİLMESİ</i>	856-868
<i>Elif ATABAY, Mehmet ALBAYRAK</i>	
<i>INVESTIGATION OF FLEXURAL AND ELASTIC BUCKLING BEHAVIOR OF CELLULAR BEAMS</i>	869-882
<i>Alirıza İlker AKGÖNEN, Barış GÜNEŞ, Dia Eddin NASSANI</i>	
<i>SEYFE GÖLÜ SULAK ALAN HAVZASINDAKİ SU KAYNAKLARININ DURAYLI İZOTOP İÇERİKLERİNİN İNCELENMESİ</i>	883-903
<i>Cansu YURTERİ</i>	
<i>KIRSAL YOLLARIN ÜSTYAPI PERFORMANS ANALİZİNDE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİ: ISPARTA ÖRNEĞİ</i>	904-911
<i>Serdal TERZİ, Melak Hussein AHMED</i>	
<i>A HOME APPLIANCE CONTROL SYSTEM FOR ENERGY MANAGEMENT</i>	912-920
<i>Hanife APAYDIN ÖZKAN</i>	
<i>BETONDA CFRP SARGI UYGULAMASININ DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI</i>	921-930
<i>İlker USTABAŞ, Ali GÜRBÜZ, Zafer KURT, Fatih DEŞİK</i>	
<i>A MICROLENS BY GALLIUM DOPED ZINC OXIDE-NANOANTENNA</i>	931-942
<i>Ekin ASLAN, Erdem ASLAN</i>	
<i>SULU ÇÖZELTİLERDEN AKTİF KARBON ÜZERİNE ADSORPSİYON İLE ANTİBİYOTİKLERİN (TETRASİKLİN VE PENİSİLİN G) GİDERİMİ</i>	943-951
<i>Aydın TÜRKYILMAZ, Kaan İŞINKARALAR</i>	
<i>THE IMPORTANCE OF SMART CAMPUSES IN THE CONTEXT OF BOYD COHEN WHEEL AND SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL DIMENSION</i>	952-960
<i>Hakan ÇELEBİ, Tolga BAHADIR, İsmail ŞİMŞEK, Şevket TULUN</i>	
<i>SU KAYNAKLARINDA VE ŞEBEKELERDE ÇÖZÜNMÜŞ ORGANİK AZOTUN MEVSİMSEL DEĞİŞİMİNİN İZLENMESİ</i>	961-972
<i>Cihan ÖZGÜR, Deniz BARIŞ, Meltem KAÇIKOÇ, Şehnaz Şule KAPLAN BEKAROĞLU</i>	



PREPARATION OF DOPED TiO₂ PHOTOCATALYSTS AND THEIR DECOLORIZATION EFFICIENCIES UNDER SOLAR LIGHT

Dila KAYA^{1*}, Nazlı TÜRK TEN²

¹ Istanbul Medeniyet University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Chemistry, Istanbul, Turkey

² Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, Kırşehir, Turkey

Keywords

*Congo Red,
Decolorization,
Doped TiO₂,
Rhodamine B,
Solar Photocatalysis.*

Abstract

Photocatalysis has gained a great interest for the degradation of organic pollutants in aqueous media. This effective advanced oxidation technique is basically based on the oxidation of the target molecule by hydroxyl radicals. The most widely preferred and powerful photocatalyst is titanium dioxide (TiO₂), but it has limited use under solar light because of its band gap energy. This is a major drawback for various possible applications. In order to overcome this disadvantage, doping the photocatalyst with metals and non-metals to narrow the band gap can be applied. In this work, we have prepared visible light active photocatalysts by using wet-impregnation method. Decolorization of two different classes of dyes, Rhodamine B and Congo Red, was carried out under simulated solar light with doped TiO₂. The photocatalytic performances of non-metal doped (C, N, Se), metal doped (Cu, Fe) and codoped (N/S) TiO₂ photocatalysts were investigated by UV-vis studies and removal percentage calculations.

KATKILANDIRILMIŞ TiO₂ FOTOKATALİZÖRLERİNİN HAZIRLANMASI VE GÜNEŞ IŞIĞI ALTINDA DEKOLORİZASYON VERİMLİLİKLERİ

Anahtar Kelimeler

*Kongo Kırmızısı,
Dekolorizasyon,
Katkılandırılmış TiO₂,
Rodamin B,
Solar Fotokataliz.*

Öz

Organik kirleticilerin sulu ortamda bozunmasında etkili olan fotokataliz yöntemi oldukça ilgi çekmektedir. Bu ileri oksidasyon yönteminin esası, hedef molekülün hidroksil radikalleri tarafından yükseltgenmesidir. En yaygın olarak tercih edilen ve güçlü fotokatalizör titanyum dioksittir (TiO₂). Ancak bant boşluğu enerjisi nedeniyle güneş ışığı altında sınırlı kullanımı vardır. Bu durum, çeşitli olası uygulamalar için büyük bir dezavantajdır. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için, fotokatalizörün bant boşluğunu daraltmak amacıyla metaller ve ametaller ile katkılandırma işlemi uygulanabilmektedir. Bu çalışmada, ıslak aşılama metodunu kullanarak simüle edilmiş solar ışıkta aktif olan fotokatalizörler hazırlanmıştır. Rodamin B ve Kongo Kırmızısı olmak üzere iki farklı boya sınıfının dekolorizasyonu (renginin giderilmesi) işlemi güneş ışığı altında katkı TiO₂ ile yapılmıştır. Ametal katkı (C, N, Se), metal katkı (Cu, Fe) ve ikili katkı (N/S) TiO₂ fotokatalizörlerin fotokatalitik performansları UV-vis verilerini takip ederek ve ortamdaki uzaklaşma yüzdeleri hesaplanarak incelenmiştir.

Alıntı / Cite

Kaya, D., Türkten, N., (2020). Preparation of Doped TiO₂ Photocatalysts and Their Decolorization Efficiencies Under Solar Light, Journal of Engineering Sciences and Design, 8(3), 655-663.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

D. Kaya, 0000-0003-1607-5317
N. Türkten, 0000-0001-9343-3697

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	08.01.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	09.06.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	21.06.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

* İlgili yazar / Corresponding author: dila.kaya@medeniyet.edu.tr, +90-216-280-3333-4055

1. Introduction

The removal of organic pollutants in water and air, which cause environmental pollution, is an increasingly relevant subject in today's world. The subject has gained great importance and new environmentally friendly methods for removing these pollutants are being developed every day.

One class of pollutants is synthetic organic dyes which are widely used in different industries (Méndez-Martínez et al., 2012). Depending on their chemical constitutions, dyes can be classified as azo dyes that contain one or more azo bonds (-N= N-) and non-azo dyes. The release of azo dyes into the water streams can cause severe environmental problems. Furthermore, studies have shown that the toxicity and carcinogenic character of azo dyes can be threatening for human health (Turkten et al., 2017). Rhodamine dyes which are also known as fluorone dyes are used extensively for biotechnology applications because they show fluorescence and can be detected easily. Rhodamine dyes are also suspected to be carcinogenic and further studies are required for their removal from aqueous media.

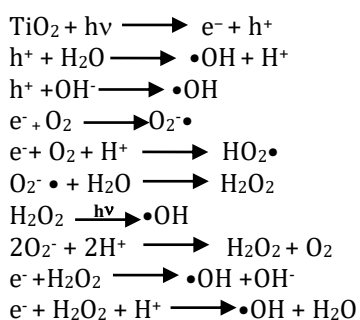
In this work, we have prepared visible light active photocatalysts by wet-impregnation method and carried out the decolorization of two different classes of dyes, Rhodamine B and Congo Red, under solar light. Evonik P25 powder, which is a mixture of anatase and rutile phases (79% anatase, 21% rutile) was chosen as the photocatalyst for doping. P25 TiO₂ which is the standard photocatalyst has high activity with a well-established structure and photocatalytic data. The photocatalytic performances of non-metal doped (C, N), metal doped (Cu, Fe, Se) and codoped (N/S) TiO₂ photocatalysts were investigated and compared by following UV-Vis data of the decolorization process and commenting on removal percentages.

2. Literature Survey

Advanced oxidation processes (AOP) stand out as alternative methods for the destruction of synthetic organic species resistant to conventional removal methods. The idea of AOP is based on the highly reactive hydroxyl radicals (Kudo et al., 2003, Gaya et al., 2008). Heterogeneous photocatalysis method which is one of the AOP, is a technique that enables the decomposition of organic pollutants in water and air into small molecules such as CO₂, H₂O, HCl in the presence of low energy UV-A light and a semiconductor. With the photocatalytic oxidation of the process, organic pollutants in the gas or liquid phase are partially or completely converted into harmless substances (Herrmann et al., 1993, Bahnemann et al., 1994, Mills et al., 1997, Pichat, 1997, Guillard et al., 1999, Bahnemann, 2004).

Since the first time the photocatalytic activity of TiO₂ was discovered (Fujishima et al., 1972), there has been an ongoing interest on its possible applications as a photocatalyst. The photocatalytic removal of organic pollutants is an economical method since it operates at ambient conditions, does not require energy input or additional chemicals other than atmospheric oxygen (Pelaez et al., 2012). There is a variety of reasons that TiO₂ is the most widely preferred and the most efficient photocatalyst. The advantages of TiO₂ include high stability, non-solubility in water, low-cost, chemical inertness and non-toxic as well as being a highly oxidative semi-conductor (Suib, 2013).

The basis of the accepted mechanism of TiO₂ photocatalysis can be explained by the formation of electron-hole (e⁻ / h⁺) pairs as a result of excitation by UV light and the obtained e⁻ / h⁺ pairs lead to oxidation and reduction reactions on the TiO₂ surface. The electrons are trapped in the distorted regions (Ti³⁺) on the particle surface and move away from the medium by reacting with molecular oxygen to form the superoxide anion radical and more hydroxyl radicals. The resulting holes react with the adsorbed water molecules or OH⁻ ions on the surface to form hydroxyl radicals. Hydroxyl radicals are thought to be the main reactive particles involved in the formation of photocatalytic reactions (Xu et al., 2007). The mechanism of photocatalytic degradation is given below;



However, the major drawback of titanium dioxide as a semiconductor-based photocatalyst is that it has a wide band gap energy of 3.2 eV and is able to absorb only 5% of sunlight. In order to overcome this disadvantage, numerous methods have been proposed and developed such as coupling with metal oxides (Ibhadon et al., 2008, Liao et al., 2008), depositing on magnetic ferrite activated carbon (Wang et al., 2010), synthesizing composite materials (Wang et al., 2007, Woan et al., 2009, Yüce et al., 2017) and surface modification (Kaya et al., 2017). One of these methods is doping the TiO₂ with metals or non-metals for an enhanced activity (Diebold, 2003, Gurkan et al., 2012, Birben et al., 2015).

Recently, doping with metal and non-metals has been carried out in order to increase the efficiency of TiO₂ photocatalysts under visible light. For this purpose, doping of TiO₂ with metal elements (Ag, Pt, Cr, V, Se, Fe, etc.) and non-metal elements (B, C, S, F, N, etc.) is conducted for increasing the visible photocatalytic activity. Metal ion doping enhances the photocatalytic activity by reducing the recombination of electron-space pairs and narrowing the charge distribution distance. Transition metal ions are the most commonly used dopants for reducing the band gap and increasing the activity of TiO₂. Metal ions are usually replaced by Ti⁴⁺ ions in the crystal network and make TiO₂ visible light active by adding electrons to the valence band or by placing additional electronic levels in the band space. In addition, metal ions slow the association rate of the charge carriers on the surface and play a role in increasing the photocatalytic activity of TiO₂. Dopant ions act as traps for electrons and holes. Numerous studies have been conducted on the effect of metal ions and while some researchers suggest that metal ions increase the activity of TiO₂, others have reported that metal ions have negative effects on the photocatalytic activity of TiO₂ (Karakitsou et al., 1993, Kang, 2003, Zhou et al., 2005, Wellia et al., 2011).

Metal-doped photocatalysts have low thermal resistance and metal ions also may act as new coupling centers for charge carriers, which has led researchers to search for new dopant ions. Recent studies show that non-metals such as N, C, S, B and P are suitable doping ions (Ohno et al., 2004). Among them, nitrogen doping is the most widely preferred one of these studies (Asahi et al., 2001, Jagadale et al., 2008, Yalçın et al., 2010). This is due to the fact that the radius of nitrogen is very close to that of oxygen, is stable and has low ionization energy. Some researchers suggest that NO_x, NH_x and N²⁻ groups on the TiO₂ surface produce visible light activity, while others suggest that the energy of the valence band increases with the nitrogen contribution and thus the band gap is narrowed (Sakthivel et al., 2004, Sato et al., 2005). Subsequent studies with anion dopants have shown that carbon doping also shifts the absorption of TiO₂ into the visible region (Sakthivel et al., 2003). The results obtained with carbon doping were interpreted differently from nitrogen. Carbon acts as both a cation by replacing with Ti⁴⁺ in the crystal network and an anion by replacing with oxygen. However, the impurity levels in the non-metal doped TiO₂ act as charge recombination centers and reduce photocatalytic activity at high dopant concentrations.

Another doping approach is codoping the TiO₂ with two different ions (Sun et al., 2006, Yu et al., 2006, Gurkan et al., 2017). Codoping of TiO₂ has increased the photocatalytic activity as compared to single doping due to synergistic effects of two different non-metals (Li et al., 2005). Codoping with a metal and a non-metal is also found to increase the degradation of p-nitrophenol under both UV-A light and visible light (Gurkan et al., 2017).

3. Materials and Methods

In this work, we have prepared non-metal doped (C, N), metal doped (Cu, Fe, Se) and codoped (N/S) TiO₂ photocatalysts using the well-established wet impregnation method. Evonik P25 TiO₂ was used as the photocatalyst. TiO₂ was doped 0.50% wt using CH₄N₂O (urea), C₆H₁₂O₆ (glucose), Fe(NO₃)₃·9H₂O (iron (III) nitrate nonahydrate), Cu(NO₃)₂·3H₂O (copper (II) nitrate trihydrate), SeCl₄ (selenium tetrachloride) and CH₄N₂O and NH₂CSNH₂ (urea and thiourea, respectively) as N, C, Fe, Cu, Se and S/N sources, respectively. All doping sources were purchased from Merck. Congo Red and Rhodamine B was purchased from Sigma Aldrich. All chemicals were used as received without further purification. Deionized water was used for the preparation of the solutions.

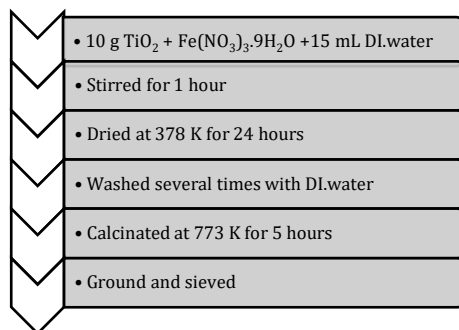
3.1. Preparation of the Doped Photocatalysts

The impregnation method can be briefly described as follows: 10 g TiO₂ Evonik P25 was mixed with 15 mL of aqueous solutions of dopant and stirred for 1 h at room temperature. Dopant concentration was decided as 0.50% wt. for all photocatalysts as it was determined in our previous work (Birben et al., 2015, Birben Nazmiye et al., 2016, Birben et al., 2017, Gurkan et al., 2017, Turkten et al., 2019). The prepared photocatalysts were washed several times with di. water and then dried at 378 K for 24 h to eliminate water completely. Dried photocatalysts were then calcinated at a predetermined temperature for several hours. Afterwards, the obtained samples were ground and sieved for a more homogeneous size distribution. Calcination temperatures and times were previously determined and are given in Table 1.

Table 1. Calcination Times and Temperatures for the Preparation of Doped Photocatalysts.

Photocatalyst	Calcination Temperature and Time
N-doped	500°C, 3 h
C-doped	500°C, 3 h
Fe-doped	500°C, 5 h
Cu-doped	500°C, 5 h
Se-doped	350°C, 3 h
N/S -codoped	350°C, 3 h

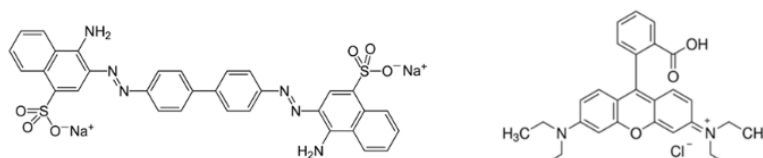
The preparation steps of Fe-doped TiO₂ is given in Figure 1 as an example to the wet impregnation method.

**Figure 1.** Wet Impregnation Steps for the Preparation of Fe-doped TiO₂ (DI.water: Deionized water)

In addition to previous characterization results, Fourier Transform Infrared (FTIR) spectra of the prepared catalysts were taken using a Perkin Elmer Spectrum Two with Universal ATR accessory with diamond/ Zn-Se crystal. Spectra were obtained from 8 scans with a resolution of 2 cm⁻¹ in the range of 4000 - 500 cm⁻¹.

3.2. Decolorization of the Chosen Dyes

Azo-dye Congo Red (CR) and fluorone dye Rhodamine B (RB) were chosen as model dyes for the determination of the decolorization efficiencies of the newly prepared photocatalysts under solar irradiation. The chemical structures of the dyes are given in Figure 2.

**Figure 2.** Congo Red, MW= 670 g/mole, λ_{\max} = 498 nm (left) and Rhodamine B, MW= 479 g/mole, λ_{\max} = 552 nm (right)

Photocatalytic decolorization of the dyes were performed in an ATLAS Suntest CPS+ simulator as solar photocatalytic reactor, equipped with an air cooled Xenon lamp (250 W m⁻² and wavelength range of 300–800 nm) as the light source. 50 mL of 20 mg L⁻¹ dye solution was put in a 150 mL cylindrical Pyrex reaction vessel and subjected to solar photocatalytic oxidation process in the presence of 0.25 mg mL⁻¹ photocatalyst. An ultrasonic water bath was used for the preparation of a homogenous suspension. Continuous stirring was applied during the experiments. After the experiments, samples were filtered through 0.45 μ m Millipore filters in order to remove TiO₂ specimens from the solution prior to analyses via UV-Vis spectrometer. λ_{\max} values were 498 nm for CR and 552 nm for RB.

4. Results and Discussion

4.1. Characterization of the Prepared Photocatalysts

In order to effectively characterize the doped photocatalysts, a variety of methods were used. BET surface area of doped TiO₂ samples were found to change in the range of 45-55 m²g⁻¹ and band gap energies were in the range of 2.55-2.90. The decrease in the band gap energies compared to 3.2 eV band gap energy of bare TiO₂ confirmed that the doping procedure shifted the band gap towards visible region (Gurkan et al., 2013, Birben et al., 2015, Birben Nazmiye et al., 2016, Birben et al., 2017, Gurkan et al., 2017, Turkten et al., 2019).

The FTIR spectra of doped TiO₂ photocatalysts are given in Figure 3. The main characteristic bands that are observed in similar wavenumbers include the broad band at 3300 cm⁻¹, which corresponds to the stretching

vibration of the hydroxyl group O-H of the TiO₂, the band at 1630 cm⁻¹ which is caused by the bending vibration of adsorbed water Ti-OH, and the bands between 800-600 cm⁻¹ corresponding to Ti-O-Ti bending (Yalçın et al., 2010). Any peaks corresponding to dopant phases were not detected. This was attributed to the low doping percentage. All spectra of doped samples were found to exhibit almost identical peak characteristics and intensity trend.

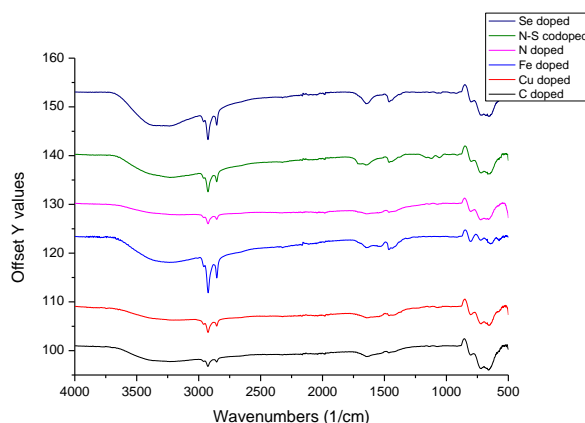


Figure 3. FTIR Spectra of the Prepared Photocatalysts

4.2. Photocatalytic Efficiencies

Photocatalyst performances were evaluated from the removal percentage values of CR and RB. Removal percentages were determined from Equation (1), where C_0 is the initial concentration of the dye and C is the dye concentration at time t .

$$\text{Removal \%} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

Prior to solar irradiation, removal of dyes by adsorption onto the photocatalyst surface were investigated. In the following data, 0 min represents the adsorption values of dyes onto the photocatalysts without applying any solar light.

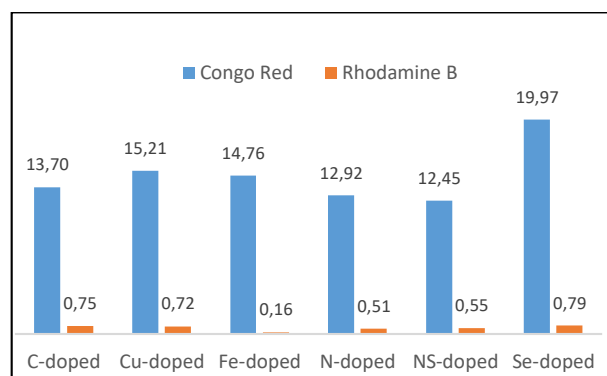


Figure 4. Removal % Values of CR and RB at 0 min

When the removal % values given in Figure 4 are taken into account, it can be said that adsorption of CR on the photocatalyst surface (without the application of solar light) is significantly higher than RB. This behavior can be explained by the higher affinity of two negative oxygen moieties (SO_3^-) on CR towards Ti atoms on the catalyst surface, making it prone to forming complexes. This causes approximately 12 – 20% of CR to be removed by adsorption depending on the catalyst. However, in the case of RB, it can be said that since only less than 1% dye is adsorbed on catalyst surface, RB removal can directly be attributed to photocatalytic decolorization rather than adsorption.

Photocatalytic decolorization results of the dye solutions after treatment with solar light for 60 minutes are given in Figure 5.

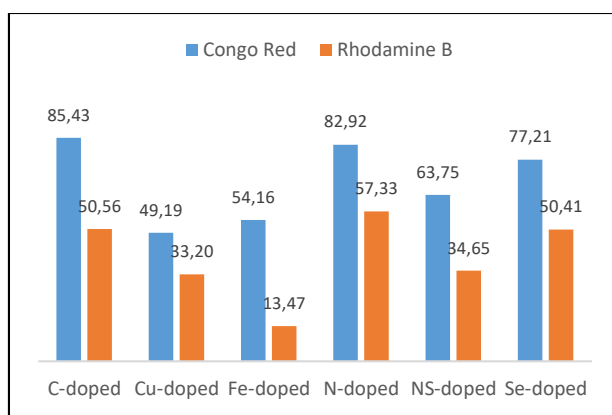


Figure 5. Removal % Values of CR and RB after 60 min Irradiation

Figure 5 shows that overall, CR removal was more efficient than RB removal reaching as high as 85 % for all investigated photocatalysts. This finding could implicate a better removal efficiency for azo dyes compared to fluorone dyes under solar light using doped photocatalysts.

When the photocatalysts were compared with respect to each dopant, both CR and RB had higher removal % for non-metal doped photocatalysts, namely C doped and N doped. For both dyes, co-doping was found to increase the removal efficiencies compared to metal doped photocatalysts. Overall, best decolorization performances were obtained with C-doped and N-doped photocatalysts for both CR and RB. This finding is in agreement with literature where carbon doped TiO₂ was found to have superior photocatalytic activity than unmodified TiO₂ for the solar light degradation of some phenol derivatives and azo dye remazol red (Sakhivel et al., 2003). Nitrogen doped visible light active photocatalysts were also investigated and found to be visible light active for the degradation of varying model pollutants such as phenols, dyes, and volatile organic compounds (Pelaez et al., 2012).

While C and N-doped photocatalysts have similar removal efficiencies between 83-85%, Se which is also a non-metal causes a somewhat lower removal percentage of 77%. This can be explained by the fact that Se is also considered as a metalloid with properties that are similar to sulfur, arsenic and tellurium. It was argued by Gurkan et. al. that Se doping produces additional electronic states and contributes to a higher visible light activity (Gurkan et al., 2013).

Although codoping with N and S provides a higher decolorization of the studied dyes compared to metal doped photocatalysts, the visible light activity of NS-doped catalyst was lower than non-metal doped ones. It was previously shown that while codoping is believed to be superior to single non-metal doping, codoping at two anionic sites could distort the crystal structure and promote the recombination rate of the charge carriers (Sun et al., 2013).

Metal doped photocatalysts were less efficient in terms of dye decolorization with 49-54% for CR and 13-33% for RB using Fe-doped and Cu-doped photocatalysts, respectively. It is known that incorporating transition metals into the TiO₂ crystal lattice could cause the formation of new energy levels between valence and conductance bands decreasing the band gap energy. Nonetheless, there are also explanations as to why photocatalytic activity or the visible light activity is not enhanced with metal ion doping as expected. This low visible light activity despite the decrease in band gap energy could be explained by the low incorporation of the metals into the TiO₂ lattice and the blocking of the surface by excess metal ions (Kang, 2005). Other possible drawbacks include photocorrosion and the promotion of charge recombination at metal sites (Pelaez et al., 2012).

Detailed decolorization values for both dyes at 0 min and 60 min are presented in Figure 6 for comparison. It can be said by removal % values of 0 min and 60 min, RB is only removed from the aqueous solution by photocatalysis with the prepared doped catalysts under solar light. CR on the other hand, clearly adsorbs onto the catalyst surface as high as 20%, indicated by the 0 min results. In order to clarify the means of removal from the solution and decolorization; 0 min, 60 min removal % results and the difference between them is given in Table 2.

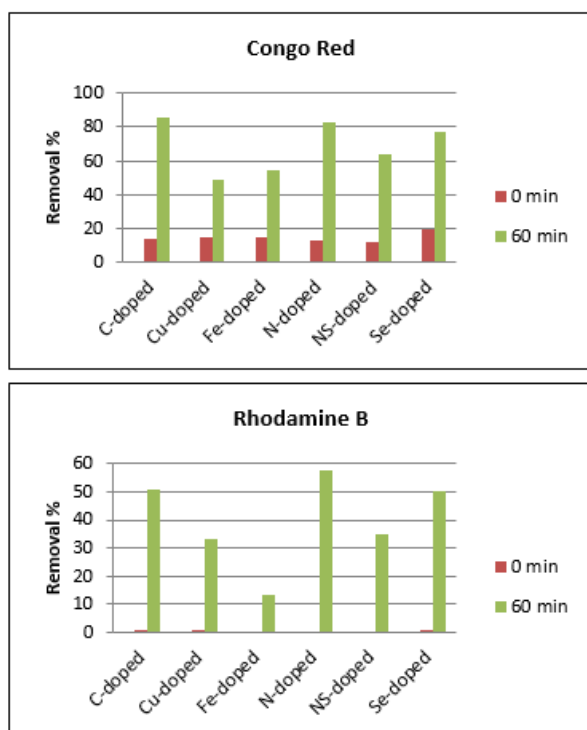


Figure 6. Comparative Removal % Values for CR and RB at 0 min and 60 min

Table 2. Removal % Differences Depending on Adsorption or Photocatalytic Decolorization

	Removal %					
	C-doped	Cu-doped	Fe-doped	N-doped	N,S-codoped	Se-doped
Congo Red						
0 min	13.70	15.21	14.76	12.92	12.45	19.97
60 min	85.43	49.19	54.16	82.92	63.75	77.21
Difference	71.73	33.98	39.4	70.00	51.30	57.24
Rhodamine B						
0 min	0.75	0.72	0.16	0.51	0.55	0.79
60 min	50.56	33.20	13.47	57.33	34.65	50.41
Difference	49.81	32.48	13.31	56.82	34.10	49.62

In Table 2, differences between 0 and 60 min results yield the normalized value of removal which solely originates from heterogeneous photocatalytic degradation of the dyes. These results indicate that C-doped TiO₂ and N-doped TiO₂ show the highest visible light activity for CR and RB, respectively. The lowest visible light active photocatalyst was determined to be Fe-doped catalyst for the removal of both dyes, with removal values of 39.4 % and 13.3 % for CR and RB.

5. Conclusion

In this work we have shown that Evonik P25 TiO₂ can successfully be doped with metals and non-metals using wet impregnation method. We have conducted a comparative investigation on the decolorization performance of the doped photocatalysts and shown that the newly prepared catalysts can indeed perform decolorization of the chosen dyes under simulated solar light. When adsorption onto the doped TiO₂ surfaces were taken into account, CR was found to be more prone to adsorbing to the surface of TiO₂ than RB. This was attributed to the affinity of negative moieties on CR towards Ti atoms. Both CR and RB had higher removal % for non-metal doped photocatalysts. For both dyes, co-doping increased the removal efficiencies compared to metal doped photocatalysts. Overall, best decolorization performances were obtained with C-doped and N-doped photocatalysts for CR and RB, respectively. Future work includes evaluating the photocatalysis kinetics in order to shed light on the reaction mechanism.

Acknowledgements

The authors express their thanks to Kirsehir Ahi Evran University Research Foundation for their financial support (Project No. FEF.A4.19.009-A4). Authors also would like to express their gratitude to Professor Miray Bekbolet for allowing them to conduct photocatalytic experiments at the laboratories of Boğaziçi University, Institute of Environmental Sciences.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Asahi, R., Morikawa, T., Ohwaki, T., Aoki, K. and Taga, Y., 2001. Visible-Light Photocatalysis in Nitrogen-Doped Titanium Oxides. *Science*, 293 (5528): 269-271.
- Bahnemann, D., 2004. Photocatalytic water treatment: solar energy applications. *Solar Energy*, 77 (5): 445-459.
- Bahnemann, D., Cunningham, J., Fox, M., Pelizzetti, E., Pichat, P., Serpone, N., Helz, G., Zepp, R. and Crosby, D., 1994. Aquatic and surface photochemistry. Lewis, Boca Raton, FL: 261.
- Birben Nazmiye, C., Uyguner-Demirel Ceyda, S., Sen-Kavurmaci, S., Gürkan Yelda, Y., Türkten, N., Kılıç, M., Çınar, Z. and Bekbolet, M., 2016. Photocatalytic Performance of Anion Doped TiO₂ on the Degradation of Complex Organic Matrix. *Journal of Advanced Oxidation Technologies*. 19: 199.
- Birben, N. C., Uyguner-Demirel, C. S., Kavurmaci, S. S., Gürkan, Y. Y., Türkten, N., Cinar, Z. and Bekbolet, M., 2017. Application of Fe-doped TiO₂ specimens for the solar photocatalytic degradation of humic acid. *Catalysis Today*, 281: 78-84.
- Birben, N. C., Uyguner-Demirel, C. S., Sen-Kavurmaci, S., Gurkan, Y. Y., Turkten, N., Cinar, Z. and Bekbolet, M., 2015. Comparative evaluation of anion doped photocatalysts on the mineralization and decolorization of natural organic matter. *Catalysis Today*, 240, Part A: 125-131.
- Diebold, U., 2003. The surface science of titanium dioxide. *Surface Science Reports*, 48 (5-8): 53-229.
- Fujishima, A. and Honda, K., 1972. Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode. *Nature*, 238 (5358): 37-38.
- Gaya, U. I. and Abdullah, A. H., 2008. Heterogeneous photocatalytic degradation of organic contaminants over titanium dioxide: A review of fundamentals, progress and problems. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 9 (1): 1-12.
- Guillard, C., Disdier, J., Herrmann, J.-M., Lehaut, C., Chopin, T., Malato, S. and Blanco, J., 1999. Comparison of various titania samples of industrial origin in the solar photocatalytic detoxification of water containing 4-chlorophenol. *Catalysis Today*, 54 (2-3): 217-228.
- Gurkan, Y., Kasapbasi, E., Turkten, N. and Cinar, Z., 2017. Influence of Se/N Codoping on the Structural, Optical, Electronic and Photocatalytic Properties of TiO₂. *Molecules*, 22 (3): 414.
- Gurkan, Y. Y., Kasapbasi, E. and Cinar, Z., 2013. Enhanced solar photocatalytic activity of TiO₂ by selenium(IV) ion-doping: Characterization and DFT modeling of the surface. *Chemical Engineering Journal*, 214: 34-44.
- Gurkan, Y. Y., Turkten, N., Hatipoglu, A. and Cinar, Z., 2012. Photocatalytic degradation of cefazolin over N-doped TiO₂ under UV and sunlight irradiation: Prediction of the reaction paths via conceptual DFT. *Chemical Engineering Journal*, 184: 113-124.
- Herrmann, J. M., Guillard, C. and Pichat, P., 1993. Heterogeneous photocatalysis : an emerging technology for water treatment. *Catalysis Today*, 17 (1): 7-20.
- Ibhadon, A., Greenway, G. and Yue, Y., 2008. Photocatalytic activity of surface modified TiO₂/RuO₂/SiO₂ nanoparticles for azo-dye degradation. *Catalysis Communications*, 9 (1): 153-157.
- Jagdale, T. C., Takale, S. P., Sonawane, R. S., Joshi, H. M., Patil, S. I., Kale, B. B. and Ogale, S. B., 2008. N-Doped TiO₂ Nanoparticle Based Visible Light Photocatalyst by Modified Peroxide Sol-Gel Method. *The Journal of Physical Chemistry C*, 112 (37): 14595-14602.
- Kang, M., 2003. Synthesis of Fe/TiO₂ photocatalyst with nanometer size by solvothermal method and the effect of H₂O addition on structural stability and photodecomposition of methanol. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 197 (1-2): 173-183.
- Kang, M., 2005. The superhydrophilicity of Al-TiO₂ nanometer sized material synthesized using a solvothermal method. *Materials Letters*, 59 (24-25): 3122-3127.
- Karakitsou, K. E. and Verykios, X. E., 1993. Effects of Altrivalent Cation Doping of Titania on its Performance as a Photocatalyst for Water Cleavage. *The Journal of Physical Chemistry*, 97 (6): 1184-1189.
- Kaya, D. and San, N., 2017. Heterogeneous Photocatalytic Degradation of 4-Nitrophenol via TiO₂ Surface-Modified with Salicylic Acid. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26 (8): 4953-4962.
- Kudo, T., Nakamura, Y. and Ruike, A., 2003. Development of rectangular column structured titanium oxide photocatalysts anchored on silica sheets by a wet process. *Research on Chemical Intermediates*, 29 (6): 631-639.
- Li, D., Ohashi, N., Hishita, S., Kolodiazny, T. and Haneda, H., 2005. Origin of Visible-Light-Driven Photocatalysis: A Comparative Study on N/F-Doped and N-F-Codoped TiO₂ Powders by means of Experimental Characterizations and Theoretical Calculations. *Journal of Solid State Chemistry*, 178 (11): 3293-3302.
- Liao, D. L., Badour, C. A. and Liao, B. Q., 2008. Preparation of Nanosized TiO₂/ZnO Composite Catalyst and its Photocatalytic Activity for Degradation of Methyl Orange. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 194 (1): 11-19.
- Méndez-Martínez, A. J., Dávila-Jiménez, M. M., Ornelas-Dávila, O., Elizalde-González, M. P., Arroyo-Abad, U., Sirés, I. and Brillas, E., 2012. Electrochemical reduction and oxidation pathways for Reactive Black 5 dye using nickel electrodes in divided and undivided cells. *Electrochimica Acta*, 59: 140-149.
- Mills, A. and Le Hunte, S., 1997. An overview of semiconductor photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 108 (1): 1-35.
- Ohno, T., Akiyoshi, M., Umeyayashi, T., Asai, K., Mitsui, T. and Matsumura, M., 2004. Preparation of S-Doped TiO₂ Photocatalysts and their Photocatalytic Activities Under Visible Light. *Applied Catalysis A: General*, 265 (1): 115-121.
- Pelaez, M., Nolan, N. T., Pillai, S. C., Seery, M. K., Falaras, P., Kontos, A. G., Dunlop, P. S. M., Hamilton, J. W. J., Byrne, J. A., O'Shea, K., Entezari, M. H. and Dionysiou, D. D., 2012. A Review on the Visible Light Active Titanium dioxide Photocatalysts for Environmental Applications. *Applied Catalysis B: Environmental*, 125: 331-349.

- Pichat, P. (1997). Handbook of Heterogeneous Catalysis. in: G. Ertl, H. Knözinger, Wiley-VCH, Weinheim.
- Sakthivel, S., Janczarek, M. and Kisch, H., 2004. Visible Light Activity and Photoelectrochemical Properties of Nitrogen-Doped TiO₂. The Journal of Physical Chemistry B, 108 (50): 19384-19387.
- Sakthivel, S. and Kisch, H., 2003. Daylight Photocatalysis by Carbon-Modified Titanium Dioxide. Angewandte Chemie International Edition, 42 (40): 4908-4911.
- Sato, S., Nakamura, R. and Abe, S., 2005. Visible-Light Sensitization of TiO₂ Photocatalysts by Wet-Method N Doping. Applied Catalysis A: General, 284 (1-2): 131-137.
- Suib, S., 2013. New and Future Developments in Catalysis: Solar Photocatalysis Amsterdam, The Netherlands Elsevier.
- Sun, H., Bai, Y., Cheng, Y., Jin, W. and Xu, N., 2006. Preparation and Characterization of Visible-Light-Driven Carbon-Sulfur-Codoped TiO₂ Photocatalysts. Industrial & Engineering Chemistry Research, 45 (14): 4971-4976.
- Sun, H., Zhou, G., Liu, S., Ang, H. M., Tadó, M. O. and Wang, S., 2013. Visible Light Responsive Titania Photocatalysts Codoped by Nitrogen and Metal (Fe, Ni, Ag, or Pt) for Remediation of Aqueous Pollutants. Chemical Engineering Journal, 231: 18-25.
- Turkten, N. and Cinar, Z., 2017. Photocatalytic decolorization of azo dyes on TiO₂: Prediction of mechanism via conceptual DFT. Catalysis Today, 287: 169-175.
- Turkten, N., Cinar, Z., Tomruk, A. and Bekbolet, M., 2019. Copper-doped TiO₂ photocatalysts: application to drinking water by humic matter degradation. Environ Sci Pollut Res Int.
- Wang, F. and Min, S. X., 2007. TiO₂/polyaniline composites: An efficient photocatalyst for the degradation of methylene blue under natural light. Chinese Chemical Letters, 18 (10): 1273-1277.
- Wang, S. and Zhou, S., 2010. Titania deposited on soft magnetic activated carbon as a magnetically separable photocatalyst with enhanced activity. Applied Surface Science, 256 (21): 6191-6198.
- Wellia, D. V., Xu, Q. C., Sk, M. A., Lim, K. H., Lim, T. M. and Tan, T. T. Y., 2011. Experimental and theoretical studies of Fe-doped TiO₂ films prepared by peroxo sol-gel method. Applied Catalysis A: General, 401 (1-2): 98-105.
- Woan, K., Pyrgiotakis, G. and Sigmund, W., 2009. Photocatalytic carbon-nanotube - TiO₂ composites. Advanced Materials, 21 (21): 2233-2239.
- Xu, T., Kamat, P. V., Joshi, S., Mebel, A. M., Cai, Y. and O'Shea, K. E., 2007. Hydroxyl radical mediated degradation of phenylarsonic acid. J Physical Chemistry A, 111 (32): 7819-7824.
- Yalçın, Y., Kılıç, M. and Çınar, Z., 2010. Fe³⁺-doped TiO₂: A combined experimental and computational approach to the evaluation of visible light activity. Applied Catalysis B: Environmental, 99 (3-4): 469-477.
- Yalçın, Y., Kılıç, M. and Çınar, Z., 2010. The Role of Non-Metal Doping in TiO₂ Photocatalysis. Journal of Advanced Oxidation Technologies, 13 (3): 281-296.
- Yu, J., Zhou, M., Cheng, B. and Zhao, X., 2006. Preparation, Characterization and Photocatalytic Activity of in situ N,S-Codoped TiO₂ Powders. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 246 (1-2): 176-184.
- Yüce, E., Mert, E. H., Krajnc, P., Parin, F. N., San, N., Kaya, D. and Yıldırım, H., 2017. Photocatalytic Activity of Titania/Polydicyclopentadiene PolyHIPE Composites. Macromolecular Materials and Engineering, 302 (10): 1700091.
- Zhou, M., Yu, J., Cheng, B. and Yu, H., 2005. Preparation and photocatalytic activity of Fe-doped mesoporous titanium dioxide nanocrystalline photocatalysts. Materials Chemistry and Physics, 93 (1): 159-163.



PHOTOCATALYTIC ACTIVITY OF IN-SITU FE-DOPED TiO₂ FOR NATURAL ORGANIC MATTER REMOVAL

Nazlı TÜRKTEN^{1*}, Ceyda S. UYGUNER DEMİREL²

¹ Kırşehir Ahi Evran University, Department of Chemistry, Faculty of Arts and Sciences, Kırşehir-Turkey

² Bogazici University, Institute of Environmental Sciences, Bebek, Istanbul-Turkey

Keywords

*EEM,
Fe-Doped TiO₂,
Humic Acid,
In-Situ Sol Gel Method,
Photocatalytic Degradation.*

Abstract

Humic acids represent a major fraction of natural organic matter (NOM) in aquatic environments. Having undefined composition and complex ill-defined structures, their presence in natural waters is undesirable. In this study, solar photocatalytic activity of synthesized Fe-doped TiO₂ photocatalysts was investigated for the degradation of a 100 kDa molecular size fraction of humic acid. For this purpose, catalysts comprised of 5 different molar ratios of Fe/Ti were prepared by in-situ sol gel method and characterized by FTIR and Raman spectroscopy. Optimum loadings of the catalysts were determined and the kinetics of humic acid removal was investigated focusing on UV-vis spectroscopic parameters. Moreover, fluorescence techniques such as excitation-emission matrix (EEM) were also acquired for elucidating induced structural changes of humic acid during photocatalytic degradation. Results revealed that, using photocatalysts prepared by in-situ sol-gel method 20 to 25% removal of humic acid could be attained after photocatalytic treatment of 120 min.

ORGANİK MADDE GİDERİMİ İÇİN EŞ ANLI (IN-SITU) FE-KATKILI TiO₂'NİN FOTOKATALİTİK AKTİVİTESİ

Anahtar Kelimeler

*UEM,
Fe-Katkılı TiO₂,
Hümik Asit,
In-Situ Sol Jel Yöntemi,
Fotokatalitik Degradasyon.*

Öz

Hümik asitler, su ortamlarındaki doğal organik maddenin (DOM) büyük bir kısmını temsil etmektedirler. Hümik asitlerin tam olarak tanımlanmamış kimyasal bileşimleri ve karmaşık yapıları sebebiyle doğal sularda bulunmaları istenmemektedir. Bu çalışmada, hümik asidin 100 kDa moleküler boyut fraksiyonunun degradasyonunun incelenmesi için sentezlenen Fe katkı TiO₂ fotokatalizörlerinin simüle edilmiş güneş ışığı altındaki fotokatalitik aktivitesi incelenmiştir. Bu amaçla, beş farklı Fe/Ti molar oranından oluşan fotokatalizörler, eş-anlı (in-situ) sol jel yöntemi ile hazırlanmıştır. Hazırlanan Fe katkı TiO₂ fotokatalizörlerinin karakterizasyonu FTIR spektroskopik yöntemi ve Raman spektroskopisi kullanılarak yapılmıştır. Katalizörlerin optimum dozlarının hümik asidin giderimine olan etkisi yapılan çalışmada belirlenmiştir. Buna ilaveten, UV-vis spektroskopisinin parametrelerine dayanılarak hümik asit gideriminin kinetiği incelenmiştir. Ayrıca, fotokatalitik degradasyon sırasında hümik asit yapısında gerçekleşen değişikliklerin açıklanabilmesi için uyarılma-emisyon matrisi (UEM) gibi spektroskopik floresans teknikleri kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar eş-anlı (in-situ) sol-jel yöntemi ile hazırlanan fotokatalizörlerin kullanılması ile 120 dakika fotokatalitik işlem sonucunda hümik asit gideriminin % 20 ile % 25 aralığında olabileceğini göstermektedir.

Alıntı / Cite

Türkten, N., Uyguner Demirel, C. S., (2020). Photocatalytic Activity of In-situ Fe-Doped TiO₂ for Natural Organic Matter Removal, Journal of Engineering Sciences and Design, 8(3), 664-670.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

N. Türkten, 0000-0001-9343-3697
C. S. Uyguner Demirel, 0000-0001-8782-7526

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	09.01.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	11.06.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	21.06.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

* Corresponding author: nazli.turkten@ahievran.edu.tr, +90-386-280-3104

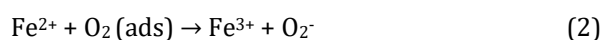
1. Introduction

In recent twenty years, photocatalytic degradation of natural organic matter consisting of humic acids and fulvic acids have received great interest. Due to their role as precursors to the formation of disinfection by-products in chlorination process, their removal by various advanced oxidation processes have been studied in detail. Recently, the application of visible light activated photocatalysts for the removal of NOM and its fractions has been a popular research topic (Birben et al. 2017).

In this study, Fe-doped TiO₂ photocatalysts were prepared by an in-situ sol gel method changing the mole ratios of Fe to Ti, from 0.2 to 1.0. In a comparative approach to recent studies, solar photocatalytic activity of the synthesized catalysts were tested for the degradation of a 100 kDa molecular size fraction of humic acid. Kinetics of removal was explained by UV-vis parameters and specific fluorescence features.

2. Literature Survey

Recent findings revealed that Fe³⁺ was a good candidate for its photoactivity due to its band-gap (2.6 eV) and similar radius to that of Ti⁴⁺ (Yalçın et al., 2010). Taking into account the energy level of Fe²⁺/Fe³⁺ that is close to that of Ti³⁺/Ti⁴⁺, the separation of photogenerated electron-hole pair was favored leading to a better quantum efficiency as given in Equations (1)-(5) and explained in detail in various sources (Araña et al., 2003; Zhu et al., 2004; Zhang et al., 1998).



Fe-doped TiO₂ photocatalysts could be synthesized by using different preparation methods such as a wet-impregnation method (Birben et al., 2017), a combination of sol-gel and wet-impregnation methods (Türkten and Cinar, 2019) and an in-situ sol gel method (Šijaković-Vujičić et al., 2004). In-situ sol gel method, the dopant agent was added into titanium(IV)isopropoxide (TIP) during hydrolysis process.

Literature survey reveals very few studies on the application of Fe doped TiO₂ specimens for the degradation of NOM or humic acids (HA) (Yuan et al., 2013 and Baek et al., 2014, Birben et al., 2017). In a recent paper by Yuan et al., (2013) the removal of HA by Al and Fe co-doped TiO₂ nanotubes was investigated under UV light. Birben et al. (2017) tested the solar photocatalytic activity of Fe-doped TiO₂ specimens (P-25 and UV-100) prepared by a wet impregnation method for the degradation of humic acid, where slower degradation rates were attained indicating the importance of substrate properties rather than the inefficiency of visible light activation by metal doping of photocatalyst.

3. Material and Method

3.1. Catalyst Preparation

Fe-doped TiO₂ photocatalysts were synthesized by in-situ sol gel method. TiO₂ was synthesized using a modified sol-gel method (Shen et al, 2009). 0.1 mol of TIP was added dropwise into 100 mL ethanol within 30 min at room temperature under vigorous stirring to form Solution A. pH was adjusted to 2 during addition of TIP. Fe(NO₃)₃·9H₂O was used as a Fe source. A certain amount of iron nitrate was dissolved in the mixture of 10 mL, 10 mL acetic acid and 80 mL ethanol to form Solution B. Solution A was added dropwise into Solution B within 60 min under continuous stirring for another 2 h at room temperature until a transparent solution was obtained. The resultant solution was aged for 48 h at room temperature in dark. The obtained gel was dried in an air oven at 378 K for 12 h and followed by extensive washing, at 773 K for 5 h and grinding. The sample was represented as x-FeTiO₂. X being the mole ratios of Fe to Ti, it was labeled as 0.2-FeTiO₂, 0.4-FeTiO₂, 0.6-FeTiO₂, 0.8-FeTiO₂ and 1.0-FeTiO₂, respectively.

3.2. Humic Acid Characterization

50 mg L⁻¹ HA (Aldrich humic acid sodium salt) was prepared and filtered through 0.45 µm cellulose acetate membrane filters. Subsequently, ultrafiltration (Amicon 8050 stirred cell unit) was applied to prepare 100 kDa molecular size fraction of humic acid.

Solar photocatalysis was carried out in a simulator (ATLAS Suntest CPS+) equipped with an air-cooled Xenon lamp ($\lambda=300-800$ nm, 250 W/m²) as the light source. Photocatalyst specimens were removed from the reaction medium by immediate filtration through 0.45 µm membrane filter. Clear samples were subjected to UV-vis and fluorescence spectroscopic analysis.

3.3. Analytical Methods

FTIR spectroscopy was performed by Perkin Elmer Spectrum Two with Universal ATR accessory with diamond/ZnSe crystal. Spectra were obtained from 8 scans with a resolution of 2 cm⁻¹ in the range of 4000-500 cm⁻¹. Raman spectra were acquired by a Thermo Scientific with NXR FT-Raman Module.

For humic acid characterization by UV-vis spectroscopy (Perkin Elmer Lambda35), parameters were described in terms of selected absorbance values measured at 254 nm (UV₂₅₄). In order to acquire fluorescence spectra as excitation-emission matrix (EEM), excitation wavelengths were incrementally increased from 250 to 600 nm at 10 nm steps; for each excitation wavelength, the emission at longer wavelengths was detected at 0.5 nm steps (Perkin Elmer LS 55). Excitation and emission slit widths were set to 10 nm and photomultiplier tube voltage was 900 V. Three-dimensional contour plots were created by plotting fluorescence intensity as a function of emission (x-axis) and excitation (y-axis) wavelengths. Matlab R2013a was used to process EEM data.

Moreover, doped TiO₂ specimens in deionized water were also exposed to irradiation to check the stability and release of Fe species. Fe concentration was measured by ICP-OES (Perkin Elmer Optima 2100DV).

4. Experimental Results

4.1. FTIR Spectroscopy

The FTIR spectra of five different Fe-doped specimens show that they all have similar absorption patterns (Figure 1). The peak at 1643 cm⁻¹ is attributed to the H-O-H bending vibration of adsorbed water, whereas absorption at ~1450 cm⁻¹ represents a stretching vibration of adsorbed carbon species. The absence of a broad peak in the region 3500–2400 cm⁻¹ indicates that Fe-doped TiO₂ surface has less hydroxyl groups. Moreover, this finding points out that the surface of the Fe/Ti catalysts prepared by in situ sol gel method seems to be almost dehydrated/dehydroxylated. These results suggest that the degree of dehydroxylation could forecast a loss of photoactivity on these Fe-doped TiO₂ catalysts (Navio et al, 1996; Yalçın et al, 2010).

4.2. Raman Spectroscopy

Raman spectroscopy is a powerful technique for the determination of crystallite phases of TiO₂. Figure 2 shows the Raman spectra of different mol ratios of Fe-doped samples where five modes of anatase are detected. Raman peak at about 146 cm⁻¹ is observed for all samples, which is attributed to the main E_g anatase vibration mode. Moreover, vibration peaks at 198 cm⁻¹ (E_g weak), 396 cm⁻¹ (B_{1g}), 518 cm⁻¹ (A_{1g}), and 638 cm⁻¹ (E_g) are present in all of the spectra of Fe-doped TiO₂ samples, which indicate that anatase is the predominant crystallite phase and no rutile or brookite impurity can be detected (Cong et al, 2007; Yalçın et al, 2010). Moreover, no bands are observed for oxides of iron. It is also evident that the intensities of anatase peaks decrease with the increase in doping concentration of the iron in the TiO₂ crystal lattice. This observation can be attributed to the increase in oxygen deficiencies as well as decrease in the crystalline size in the titania matrix (Delekar et al, 2012).

4.3. Humic Acid Removal and Characterization

Figure 3 shows % UV₂₅₄ removal data of humic acid in the presence of Fe-TiO₂ specimens using two different doses.

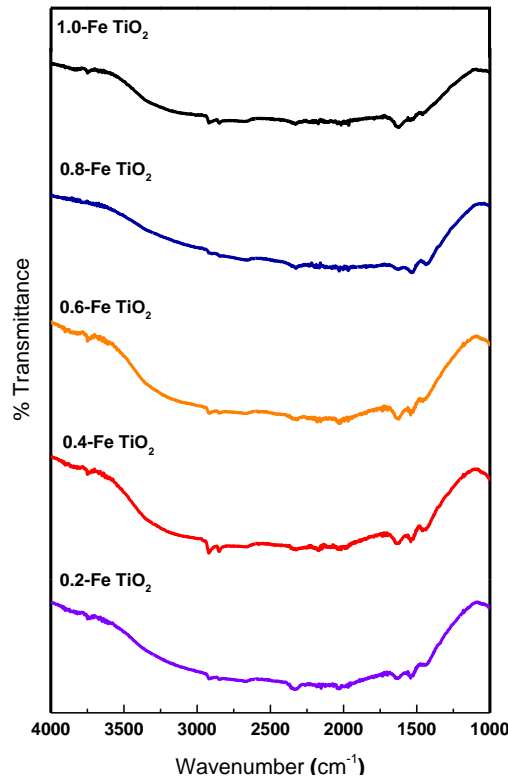


Figure 1. FTIR spectra of Fe-doped TiO₂ samples

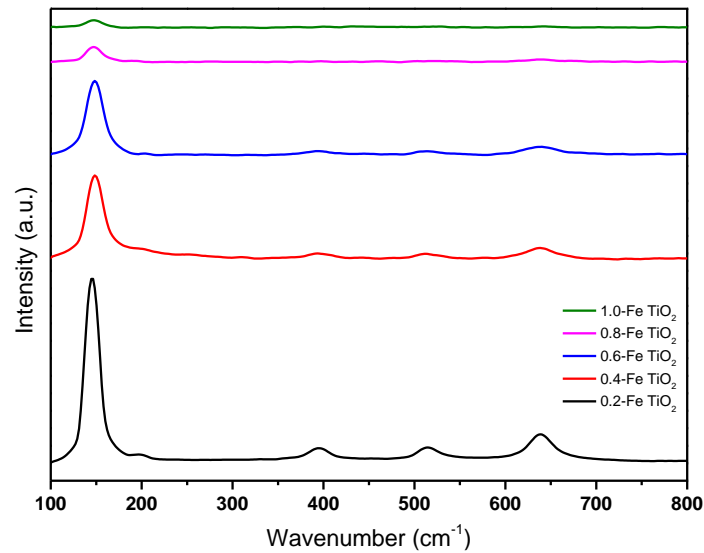


Figure 2. Raman spectra of Fe-doped TiO₂ samples.

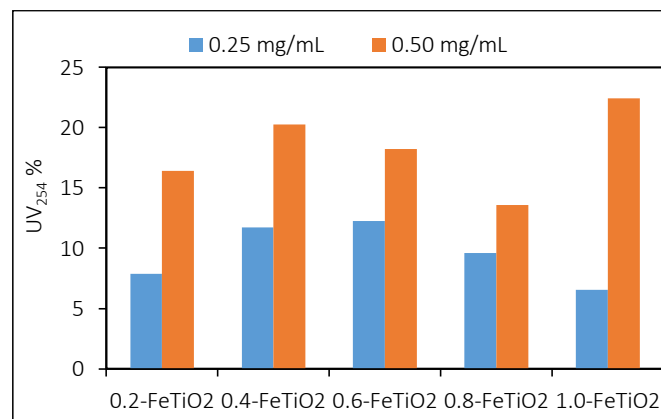


Figure 3. Humic acid removal (60 min) in the presence of 0.25 and 0.50 mg/mL Fe-TiO₂.

In general, humic acid removal increased with increasing photocatalyst dose. In the presence of 0.25 mg/mL of catalyst, changing the mole percentage of Fe-TiO₂ from 0.2 to 0.6 slightly increased removal of HA from 8 to 12%. Further increase in the mole ratio had a detrimental effect on the photocatalytic removal of humic acid probably due to recombination of Fe with electrons and holes. However, a completely different trend was observed in the presence of 0.5 mg/mL of photocatalyst loading that reached a maximum removal of 23 % using the highest mole ratio of Fe-TiO₂. Considering better removal efficiencies attained in the presence of 1.0 Fe-TiO₂, irradiation time dependent changes were presented in Figure 4.

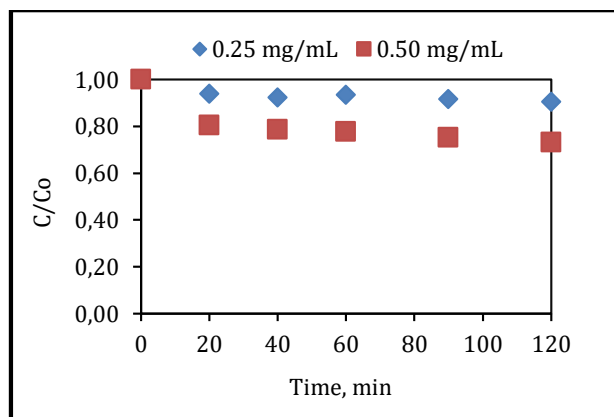


Figure 4. UV₂₅₄ removal of humic acid in the presence of 1.0 Fe-TiO₂.

Kinetic modelling of humic acid removal data revealed pseudo first order rate constants (k) as $1.1 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ and $3.93 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$, in the presence of 0.25 mg/mL and 0.50 mg/mL of Fe-TiO₂, respectively. Using the same substrate even under similar experimental conditions, photocatalytic activity of in-situ doped Fe-TiO₂ versus Fe-TiO₂ (prepared from P-25 or UV-100) synthesized by wet impregnation (Birben et al., 2017) showed significant differences. Compared to previous results of Birben et al., (2017), in the presence of in-situ doped Fe-TiO₂, one order of magnitude retardation in rate constants were noted for the photocatalytic removal of 100 kDa HA.

In Figure 5, EEM contour plots of humic acid subsequent to photocatalysis of 60 min using five different mole ratios Fe-TiO₂ samples (constant dose: 0.5 mg/ml) were shown. It is notable from the figure that humic like as well as fulvic like features decreased in all spectra, but the most significant change was observed in the presence of 1.0-Fe TiO₂ sample.

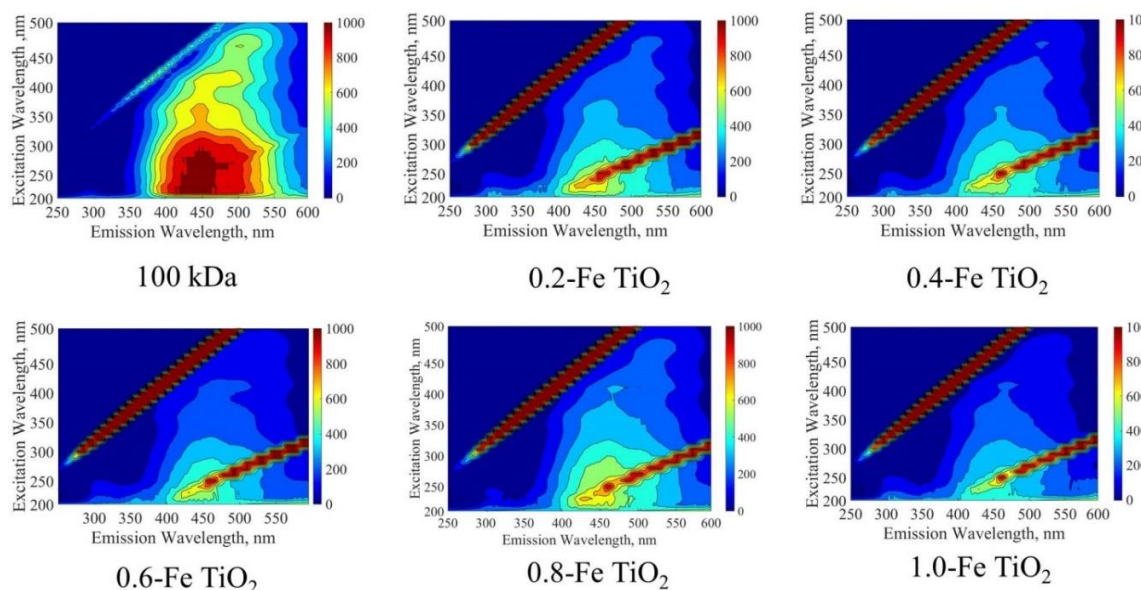


Figure 5. EEM contour plots of humic acid degradation using different mole ratios of Fe-doped TiO₂ samples.

The change in EEM contour plots of humic acid with respect to photocatalytic irradiation time was also illustrated for 1.0-Fe-TiO₂ sample in Figure 6. In accordance with UV₂₅₄ removal data, change of EEM spectra with decrease in intensity is noticeable. Moreover, analysis of EEM fluorescence contour plots attained for an irradiation period of 120 min show gradual disappearance of humic-like (λ_{exc} 220–470 nm and λ_{emis} 380–580 nm) features and evolution of protein-like fluorophores (λ_{exc} 220–250 nm and λ_{emis} 280–332 nm). Considering the higher removal

efficiency attained, as followed by UV₂₅₄, using 1.0 Fe-TiO₂ photocatalyst, EEM contour plots similarly illustrated significant loss of humic like moieties after photocatalysis of 120 min.

Humic acids have the capability of complexation with iron. Therefore, leaching of iron species were determined for 0 min and 60 min solar light irradiation in the presence of HA. The released iron concentration was detected in the range 0.054- 0.095 mg L⁻¹ for 0 min. On the other hand, after 60 min solar light irradiation, leaching of iron increased to values ranging from 0.101 mg L⁻¹ to 0.413 mg L⁻¹. The reason could be explained by chelation with humic acids and releasing of iron to the aqueous medium. The amount leached could be considered as negligible due to the presence of a high amount of iron in photocatalyst samples.

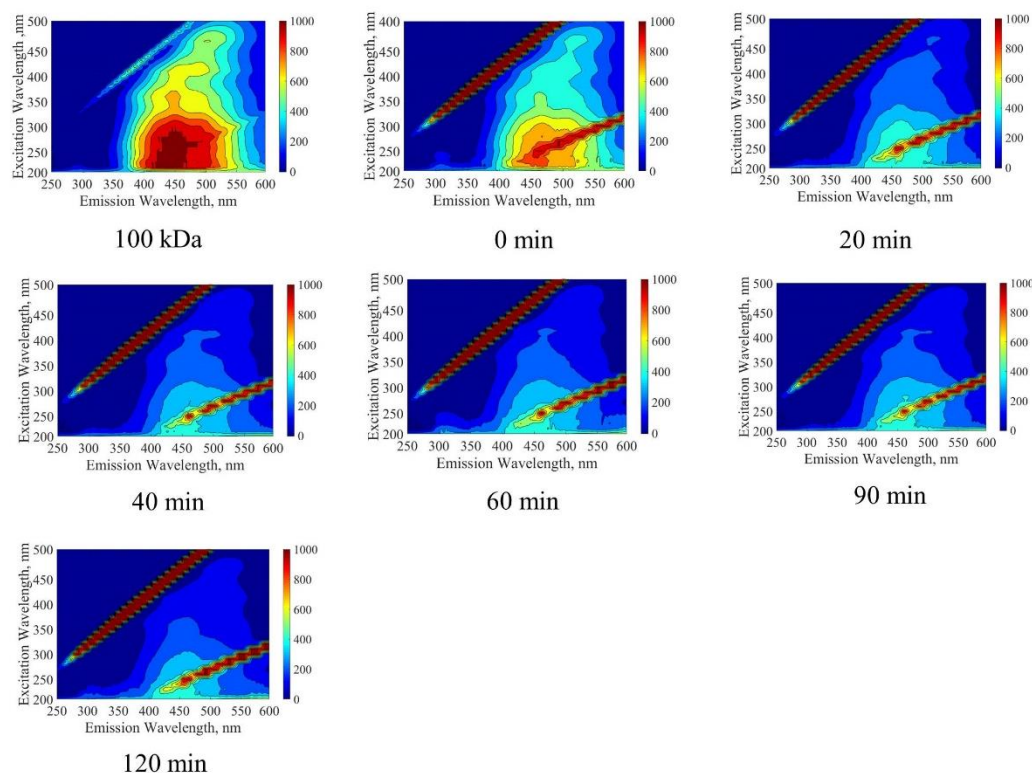


Figure 6. EEM contour plots of humic acid with respect to irradiation time using 1.0-Fe TiO₂.

5. Result and Discussion

Results revealed that, using Fe-doped photocatalysts prepared by in-situ sol-gel method, 20 to 25% removal of humic acid could be attained after photocatalytic treatment of 120 min.

EEM fluorescence spectroscopy showed notable decrease in both humic and fulvic like fluorescence features during photocatalysis, the most prominent being the one carried out in the presence of 1.0-Fe TiO₂ sample.

Improvement of the photocatalytic activity of Fe-doped TiO₂ using different methods can be possible. Considering the origin based structural complexity of NOM, different fractions of humic acid could reveal various removal efficiencies that requires further testing.

Acknowledgement

The authors express their thanks to Kırşehir Ahi Evran University Research Foundation for financial support (Project No. FEF.A4.19.009).

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Araña, J., Gonzalez Diaz, O., Dona Rodriguez, J.M., Herrera Melian, J.A., Garrigai Cabo, C., Perez Pena, J., Carman Hidalgo, M. and Navio-Santos, J.A., 2003. Role of Fe³⁺/Fe²⁺ as TiO₂ dopant ions in photocatalytic degradation of carboxylic acids. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 197, 157-171.
- Baek, M.-H., Hong, J.-S., Yoon, J.-W., and Suh J.-K., 2013. Photocatalytic degradation of humic acid by Fe-TiO₂ supported on spherical activated carbon with enhanced activity. *International Journal of Photoenergy*, 2013, 1-5.
- Birben, N.C., Uyguner-Demirel, C.S., Sen-Kavurmaci, S., Gurkan, Y.Y., Turkten, N., Cinar, Z., Bekbolet, M., 2017. Solar photocatalytic degradation of natural organic matter in the presence of Fe³⁺-doped TiO₂ specimens, *Catalysis Today*, 281, 78-84.
- Cong, Y., Zhang, J., Chen, F., Anpo, M., He, D., 2007. Preparation, Photocatalytic Activity, and Mechanism of Nano-TiO₂ Co-Doped with Nitrogen and Iron (III), *Journal of Physical Chemistry C*, 111, 10618-10623.
- Delekar, S.D., Yadava, H.M., Achary, S.N., Meenac, S.S., Pawar, S.H., 2012. Structural refinement and photocatalytic activity of Fe-doped anatase TiO₂, *Applied Surface Science*, 263, 536-545.
- Navio, J.A. Colh, G.D., Litter, M. I, Bianco, G.N., 1996. Synthesis, characterization and photocatalytic properties of iron-doped titania semiconductors prepared from TiO₂, and iron (III) acetylacetonate. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 106, 267-176
- Šijaković-Vujičić, N., Gotić, M., Musić, S., Ivanda, M., Popović, S., 2004. Synthesis and microstructural properties of Fe-TiO₂ nanocrystalline particles obtained by a modified sol-gel method. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 30, 5-19.
- Shen, X.-Z., Liu, Z.-C., Xie, S.-M., Guo, J., 2009. Degradation of nitrobenzene using titania photocatalyst co-doped with nitrogen and cerium under visible light illumination. *Journal of Hazardous Materials*, 162, 1193-1198.
- Türkten, N., Çınar, Z., 2019. Preparation, Characterization and photocatalytic properties of iron-doped TiO₂ photocatalysts. *The Proceedings of the 4th International Porous and Powder Materials Symposium and Exhibition PPM*.
- Yalçın, Y., Kılıç, M. Çınar, Z., 2010. Fe³⁺-doped TiO₂: A combined experimental and computational approach to the evaluation of visible light activity. *Applied Catalysis B: Environmental*, 99, 469-477.
- Yuan, R., Zhou, B., Hua, D. and Shi, C., 2013. Enhanced photocatalytic degradation of humic acids using Al and Fe co-doped TiO₂ nanotubes under UV/ozonation for drinking water purification. *Journal of Hazardous Materials*, 262, 527-538.
- Zhang, Z., Wang, C.-C., Zakaria, R. and Ying, J.Y., 1998. Role of particle size in nanocrystalline TiO₂-based photocatalysts. *Journal of Physical Chemistry B*, 102, 10871-10878.
- Zhu, Z., Zheng, W., He, B., Zhang, J. and Anpo, M., 2004. Characterization of Fe-TiO₂ photocatalysts synthesized by hydrothermal method and their photocatalytic reactivity for photodegradation of XRG dye diluted in water. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 216, 35-43.



VALIDATION OF THE GREEN'S FUNCTIONS RETRIEVED FROM AMBIENT NOISE BY ANDIRIN EARTHQUAKE IN THE ADANA BASIN

Taciser BAKIRCI*

Aksaray Technical Sciences Vocational School, Aksaray University, Aksaray-TURKEY

Keywords

*Ambient Noise,
Green's Function,
Surface Wave.*

Abstract

The vertical component continuous data recorded by the national seismological networks (Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI) of Bosphorus University and Earthquake Research Department (ERD) of Disaster and Emergency Management Presidency of Turkey) in the Adana Basin (Southeastern Turkey) are used to retrieve the Green's functions between two stations. The noise data were cut into 1-hour segments, scanned for the gaps caused by transmission drop-outs, preprocessed by removing the trend, mean and instrument response, down sampled to 10sps and low-pass filtered at 50s. Then the hourly cross-correlations are computed and stacked and the Green's functions between two stations are retrieved. To validate the retrieved Green's functions, the Andirin earthquake of magnitude 5 occurred on 22.07.2012 near the station Andirin (ANDN) is used. By using the ANDN station as the virtual source, the Green's functions at KARA, KMRS, KIZK, MERS and YAYL stations are compared with the real earthquake seismograms. The agreement between the earthquake seismograms and the retrieved Green's functions suggests that the Rayleigh wave group velocities can reliably be estimated for the region by using ambient noise data.

ARTALAN SİSMİK GÜRÜLTÜ VERİLERİNDEN ELDE EDİLEN GREEN FONKSİYONLARININ GEÇERLİLİĞİNİN ADANA HAVZASINDAKİ ANDIRIN DEPREMİ İLE DOĞRULANMASI

Anahtar Kelimeler

*Artalan Sismik Gürültü,
Green Fonksiyonları,
Yüzey Dalgası.*

Öz

İki istasyon arasındaki Green fonksiyonlarının elde edilmesinde Adana Havzasında (Güneydoğu Türkiye), Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) ve Türkiye Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Araştırma Dairesi (DAD) tarafından işletilen ulusal sismolojik ağlarda toplanan düşey bileşen sürekli veriler kullanılmıştır. Artalan Sismik Gürültü (ASG) verileri 1'er saatlik dilimler halinde kesilip, veri aktarımındaki kopmalar nedeniyle oluşan boşluklar tarandıktan sonra, verilere trend giderme, ortalama alma, cihaz tepkisinin giderilmesi, 10 sps örnekleme ve 50s alçak geçişli süzgeç ön işlemleri uygulanmıştır. Ardından 1 saatlik çapraz ilişki fonksiyonlarının hesaplanması ve yığmaları ile iki istasyon arasındaki Green fonksiyonları elde edilmiştir. Green fonksiyonlarını doğrulamak için 22.07.2012 tarihinde Andirin (ANDN) istasyonunun yakınında meydana gelen 5.0 (M_L) büyüklüğündeki Andirin depremi kullanılmıştır. ANDN istasyonunu sanal kaynak olarak kullanarak, KARA, KMRS, KIZK, MERS ve YAYL istasyonları ile ANDN istasyonu arasında elde edilen Green fonksiyonları ile gerçek deprem sismogramları ile karşılaştırılmıştır. Deprem sismogramları ve hesaplanan Green fonksiyonları arasındaki uyum, Rayleigh dalgası grup hızlarının, ASG verilerinden bu bölge için güvenilir bir şekilde belirlenebileceğini göstermektedir.

Alıntı / Cite

Bakırcı, T., (2020). Validation of the Green's Functions Retrieved From Ambient Noise by Andirin Earthquake In the Adana Basin, *Journal of Engineering Sciences and Design* 8(3), 671-676.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
T. Bakırcı, 0000-0001-9585-1374	Başvuru Tarihi / Submission Date	15.01.2020
	Revizyon Tarihi / Revision Date	14.06.2020
	Kabul Tarihi / Accepted Date	21.06.2020
	Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Introduction

As an alternative to earthquake signals, retrieving surface or body waves from background ambient seismic noise (ASN) has been a popular research topic for the last few decades. Green's functions are estimated from ASN recordings between two stations by cross-correlation and stacking. The Green's function can be described as empirical impulse response of the medium. Seismic interferometry theory allows the estimation of the Green's function between two receivers by cross-correlating the time series of seismic noise recorded at the stations to get information about the subsurface structure of the region. Previously conducted studies showed that group and/or phase velocities measured from Green's functions can successfully be used for the estimation of shear-wave velocity structure of the crust and upper mantle.

The reliability of the velocity model is dependent on how well the Green's functions can be extracted from ASN data. The objective of this study is to examine the consistency of real earthquake records and Green's functions obtained from ASN. The record of the Andirin earthquake (22.07.2012, M=5.0), which occurred at a location very close the ANDN station in the Adana Basin (Figure 1) was used as the reference. We compare seismograms recorded at KMRS, KARA, YAYL, MERS and KIZK stations with the Green's functions (obtained at these stations) for which the ANDN station was used as a virtual source (Figure 1). We observed that there is a good agreement between the earthquake seismograms and Green's functions.

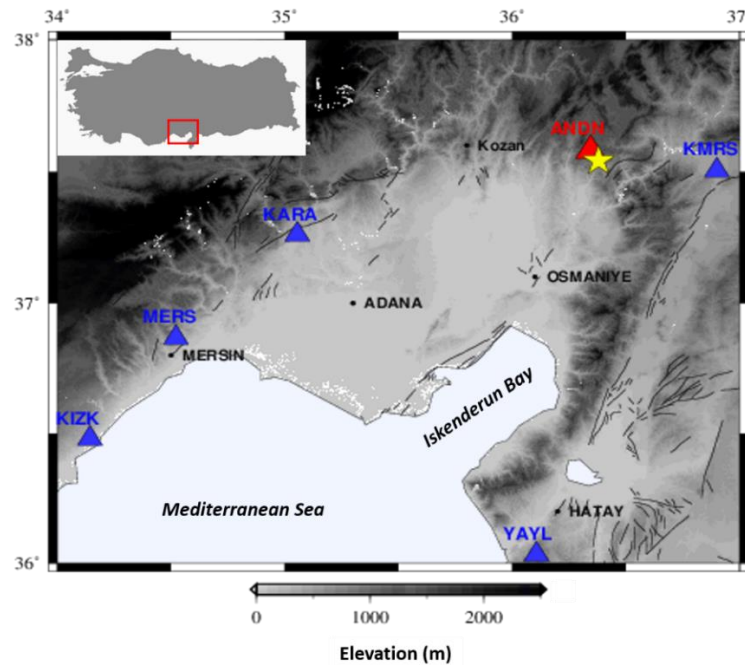


Figure 1. Location map of the seismic stations (triangles) and earthquake epicenter of Andirin earthquake (yellow star). Red triangle represents the reference station. Red frame represents the location of the study area in Turkey (upper left corner).

2. Literature Survey

Over the past few decades, ASN studies have taken an important place in crustal and upper mantle structure investigations. Numerous ASN studies have been conducted based on surface wave tomography in the global or regional scales in the world (e.g. Shapiro et al., 2005; Sabra et al., 2005; Bensen et al., 2008 and 2009, Lin et al., 2007 and 2008; Yang et al., 2010; Pawlak et al., 2011; Gao et al., 2011; Mordet et al., 2015; Asono et al., 2017; Lu and Lei 2018; Emry et al., 2019; Crowder et al., 2019; Zeng and Thurber et al., 2019).

The theoretical and experimental studies have proven that it is possible to retrieve the Green's function by cross correlating the ASN recorded at two stations (Weaver and Lobkis 2001a,b, Larose et al., 2004; Derode et al. 2003; Snieder 2004; Wapenaar 2004; Wapenaar et al. 2010a,b). With the development of the new approaches, ASN studies are used as an alternative to the traditional active source surface wave studies. Compared to utilizing the

surface waves from earthquake seismograms, retrieval of Green's functions from ASN have some advantages being independent of source parameters, azimuthal distribution and similar.

The success of seismic images using ASN is related to the quality of retrieved surface waves which requires boundary sources (primary or secondary) enclosing the receivers and the stations (Wapenaar 2003, 2004; Campillo and Paul 2003; Snieder, 2004; Wapenaar and Fokkema, 2006; Schuster, 2009). Although the method, theory and practice of ASN analysis are studied by many researchers, there are a few studies including comparison of Earthquakes with the retrieved Green's functions. Shapiro and Campillo (2004), and Quattara et al. (2019) indicated significant agreement between Rayleigh waves obtained from ASN and earthquake surface wave studies. Barmin et al. (2011) used Rayleigh waves retrieved from the ASN and the earthquake seismograms in order to test the new epicentral location method. Bao et al. (2014) showed that the Green's functions from ASN records provide very similar Rayleigh wave group dispersion curves as earthquake records. Quattara et al. (2019), obtained well correlation between Rayleigh waves estimated from the earthquake and ASN records. In this study, the coherence of Rayleigh waves obtained from ASN and earthquake records is investigated in Adana region, southern Turkey.

3. Data Processing

We use the vertical-component continuous data (2010, January 2012, December) recorded at 6 broadband stations located in the Adana Basin (Figure 1). These stations are part of the two national networks operated by Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI) of Bosphorus University and Earthquake Research Department (ERD) of Disaster and Emergency Management Presidency of Turkey.

We analyze the magnitude $M_l = 5.0$ Andirin earthquake occurred on 22.07.2012 at the depth of 7 km (Figure 1). The vertical-component seismograms are obtained from KMRS, KARA, YAYL, MERS and KIZK stations. Firstly, Rayleigh waves are selected and stored from the earthquake seismograms. Then Green's functions are retrieved for the same stations recording the Andirin earthquake, employing the ANDN station as a virtual resource.

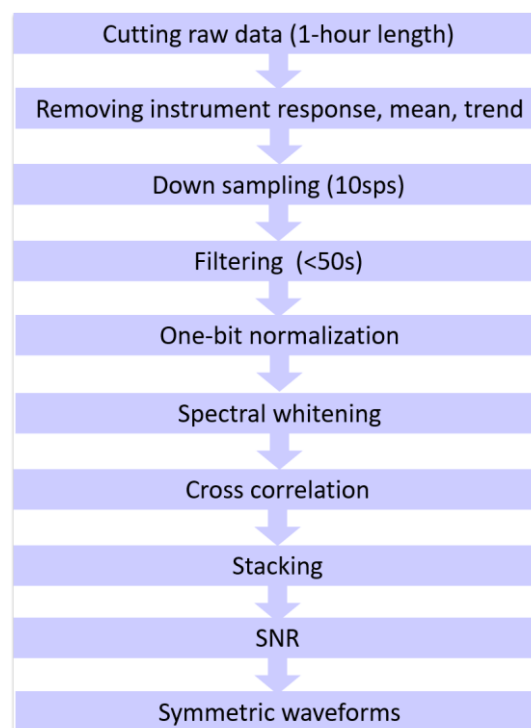


Figure 2. Data processing procedure for Green's functions.

As the first step of data processing, we scanned the three years continuous data for time gaps that develop due to the interruptions in the data transmission and/or instrumental failure. In this step, we eliminated 35, 12, 39, 55, 44 and 37 percent of the data at stations ANDN, KMRS, KARA, YAYL, MERS and KIZK, respectively. In the calculation of the cross correlations, we made station pairs using ANDN station and other stations (ANDN-KMRS, ANDN-KARA, ANDN-YAYL, ANDN-MERS, ANDN-KIZK). We follow a data processing procedure similar to that used by Bensen et al. (2007) (Figure 2). First, the trend, mean and instrument response are removed from raw data, then the data is divided into 1-hour long segments. Then, down sampling (to 10 sps), low-pass filtering (50 s) and one-bit normalization and spectral whitening steps were performed respectively. After computing 1-hour cross

correlations, we obtain monthly and yearly stacks. For the KIZK station the data processing steps results up to cross correlation are shown in the Figure 3. Cross correlation and monthly and yearly stacks for the ANDN-KIZK station pair are presented in the Figure 4. The waveform improved significantly with increasing stacking period.

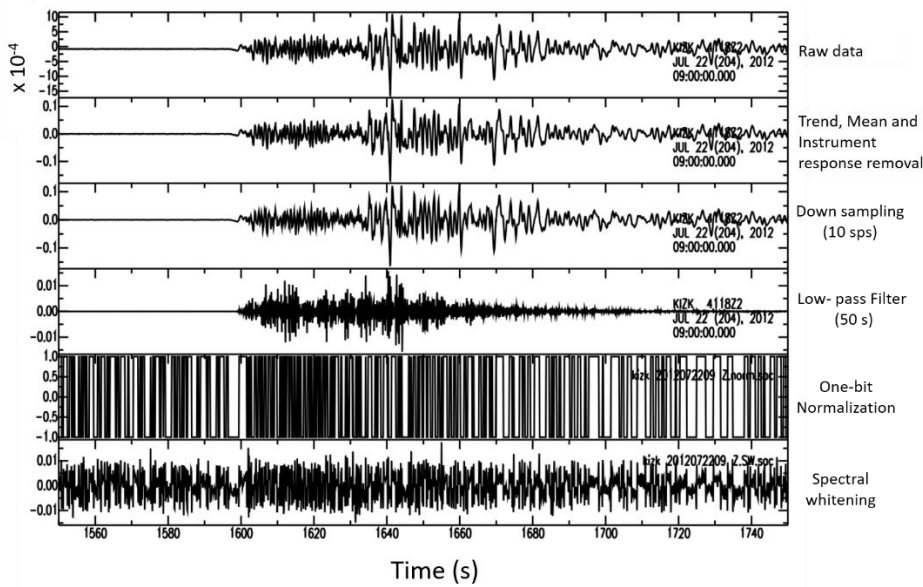


Figure 3. Data processing steps for KIZK station for 1-hour length data. (Zoom in 155-175 s)

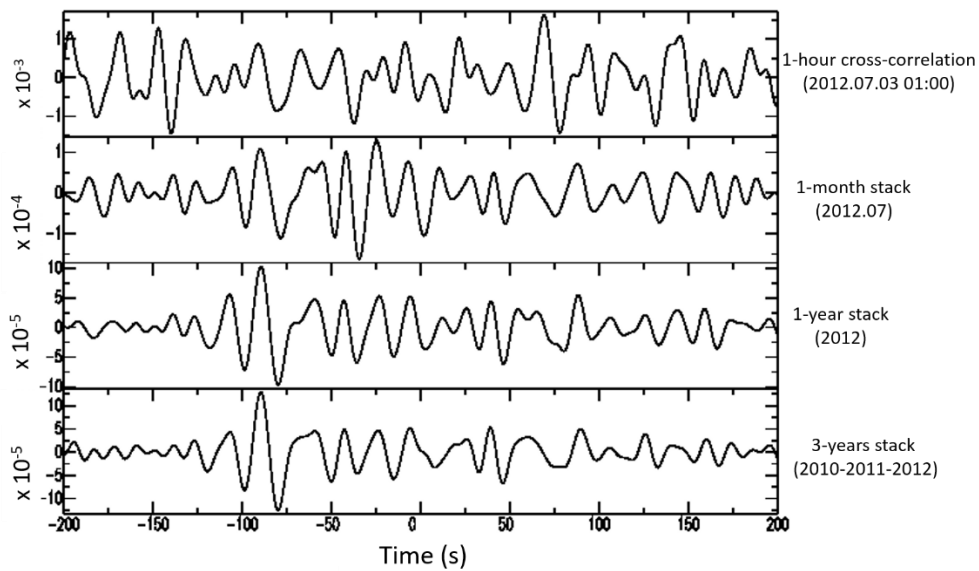


Figure 4. Cross correlation and stack results for the ANDN-KIZK station pair. (All Green's functions are band-pass filtered between 10-50 sec)

4. Results and Conclusions

The record section of the Green's functions obtained for ANDN (reference station or virtual source) and the other 5 stations is shown in Figure 5. The Rayleigh waves are observed at positive and negative lags with minor discrepancy in amplitudes in the Green's functions. But the arrival time of the Rayleigh waves is almost same. We compute the symmetric signals by averaging of the positive and negative parts of the Green's functions to get better signal to noise ratio.

We selected the Rayleigh waves from the earthquake seismograms and compared them with the waveforms retrieved from the symmetric Green's functions (Figure 6, red signal: Earthquake, black signal: ASN). We observed that there is a remarkable match between the main peaks of the two waveforms, despite some very small differences between the phases of the secondary peaks. Thus, we conclude that the Rayleigh waves can reliably be

obtained from the Green's functions. This suggests that the Rayleigh wave group velocities can be estimated accurately by using ASN data in this region.

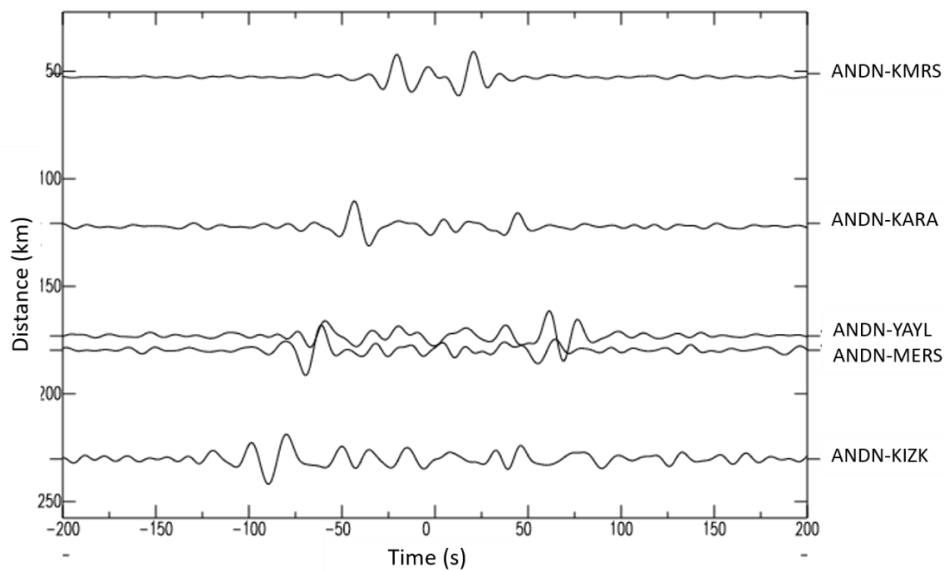


Figure 5. Record section of the Green's functions (ANDN: reference station.)

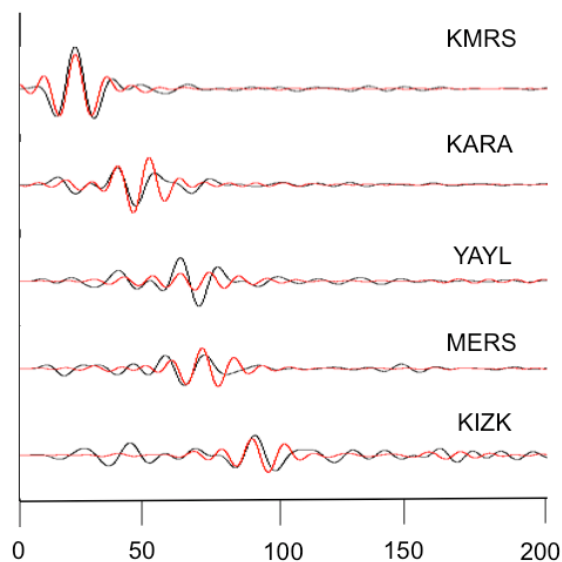


Figure 6. Observed Rayleigh waves (red waveform: earthquake, black waveform: Green's functions). All records are band-pass filtered between 8-30 s. The maximum amplitudes of the signals are normalized to be unity.

Acknowledgement

I am sincerely grateful to my advisors H. Argun Kocaoglu and Ayse Kaslilar Sisman for their continuous supports, scientific guidance, patience, motivation, enthusiasm. This paper is a part of the research which is supported by The Scientific and Technological Research Council of Turkey under Grant No. 1929B011200045 (TÜBİTAK-2218). Maps and some figures were generated using Generic Mapping Tools (Wessel and Smith 1998).

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

Asano, K., Tomotaka, I., Sekiguchi H., Somei, K., Miyakoshi, K., Aoi, S., Kunugi, T., 2017. Surface wave group velocity in the Osaka sedimentary basin, Japan, estimated using ambient noise cross-correlation functions. *Earth, Planets and Space* vol.69, pp 108. doi 10.1186/s40623-017-0694-3.

- Bao, F., Ni, S., Xie J., Zeng, X., Li, Z., Li, Z., 2014. Validating Accuracy of Rayleigh-Wave Dispersion Extracted from Ambient Seismic Noise Via Comparison with Data from a Ground-Truth Earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 104, No. 4, pp. doi: 10.1785/0120130279
- Barmin, M.P., A.L. Levshin, Y. Yang, and Ritzwoller M.H., 2011. Epicentral Location Based on Rayleigh Wave Empirical Green's Functions from Ambient Seismic Noise, *Geophys. J. Int.*, 184, 869-884, doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04879.x.
- Bensen, G.D., Ritzwoller, M.H. and Yang, Y., 2009. A 3D shear velocity model of the crust and uppermost mantle beneath the United States from ambient seismic noise, *Geophys. J. Int.*, 177(3), 1177-1196.
- Bensen, G.D., Ritzwoller, M.H., Barmin, M.P., Levshin, A.L., Lin, F., Moschetti, M.P., Shapiro, N.M., Yang, Y., 2007. Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broad-band surface wave dispersion measurements, *Geophys. J. Int.*, doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03374, 169, 1239-1260.
- Bensen, G.D., Ritzwoller, M.H., Shapiro, N. M., 2008. Broad-band ambient noise surface wave tomography across the United States, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2007JB005248, 113, 1-21.
- Campillo, M., and Paul, A., 2003. Long-range correlations in the diffuse seismic coda. *Science* 299: 547-549.
- Crowder, E., Rawlinson, N., Pilia, S., Cornwell, D. G., Reading, A. M., 2019. Transdimensional ambient noise tomography of Bass Strait, southeast Australia, reveals the sedimentary basin and deep crustal structure beneath a failed continental rift. *Geophys. J. Int.*, 217, 970-987 doi: 10.1093/gji/ggz057.
- Derode, A., Larose, E., Tanter, M., de Rosny, J., Tourin, A. Campillo, M., Fink, M., 2003. Recovering the Green's function from field correlations in an open scattering medium (L), *J. Acoust. Soc. Am.*, 113, 2973- 2976.
- Emry, E. L., Shen, Y., Nyblade, A. A., Flinders, A., Bao, X., 2019. Upper mantle Earth structure in Africa from full-wave ambient noise tomography. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20, 120-147. <https://doi.org/10.1029/2018GC007804>.
- Gao, H., Humphreys, E. D., Yao, H., Van der Hilst, R. D., 2011. Crustal and lithosphere structure of the Pacific Northwest with ambient noise tomography: Terrane accretion and Cascade arc development, *Earth. Planet. Sci. Lett.*, doi:10.1016/j.epsl.2011.01.033.
- Larose, E., Derode, A., Corenec, D., Margerin, L., Campillo, M., 2005. Passive retrieval of Rayleigh waves in disordered elastic media, *Phys. Rev. E.*, 72, 046607, doi:10.113/PhysRevE.72.046607.
- Lin, F., Moschetti, M. P., Ritzwoller, M. H., 2008. Surface wave tomography of the western United States from ambient seismic noise: Rayleigh and Love wave phase velocity maps, *Geophys. J. Int.*, doi:10.1111/j.1365-246X.2008.03720.x.
- Lin, F., Ritzwoller, M. H., Townend, J. and Bannister, M., 2007. Ambient noise Rayleigh wave tomography of New Zealand. *Geophys. J. Int.*, doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03414.x
- Lü, Z., and Lei, J. 2018. Shear-wave velocity structure beneath the central Tien Shan (NW China) from seismic ambient noise tomography. *Journal of Asian Earth Sciences* 163 (2018) 80-89.
- Mordret, A., Rivet, D., Landès, M., Shapiro, N. M., 2015. Three-dimensional shear velocity anisotropic model of Piton de la Fournaise Volcano (La Réunion Island) from ambient seismic noise, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, 406-427, doi:10.1002/2014JB011654.
- Ouattara, Y., Zigone D., Maggi A., 2019. Rayleigh wave group velocity dispersion tomography of West Africa using regional earthquakes, *J Seismol* (2019) 23:1201-1221, doi: 10.1007/s10950-019-09860-z
- Pawlak, A., Eaton, D.W., Bastow, I.D., Kendall, J-M., Helffrich, G., Wookey, J. and Snyder, D., 2011. Crustal structure beneath Hudson Bay from ambient-noise tomography: implications for basin formation. *Geophys. J. Int.*, 184, 65-82.
- Sabra, K.G., Gerstoft, P., Roux, P., Kuperman, W.A., 2005. Surface wave tomography from microseisms in Southern California, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L14311, doi:10.1029/2005GL023155.
- Schuster G T., 2009. *Seismic Interferometry*. Cambridge University Press, Cambridge, 260 pp.
- Shapiro N.M., and Campillo M., 2004. Emergence of broadband Rayleigh waves from correlations of the ambient seismic noise, *Geophys. Res. Letters*, VOL. 31, L07614, doi:10.1029/2004GL019491
- Shapiro, N. M., Campillo, M., Stehly, L., Ritzwoller, M.H., 2005. High- resolution surface-wave tomography from ambient seismic noise, *Science*, 29, 1615-1617.
- Snieder, R., 2004. Extracting the Green's function from the correlation of coda waves: A derivation based on stationary phase, *Phys. Rev. E*, 69, 046610.
- Wapenaar, K., 2003. Synthesis of an inhomogeneous medium from its acoustic transmission response: *Geophysics*, Vol. 68, 1756-1759.
- Wapenaar, K., 2004. Retrieving the elastodynamic Green's function of an arbitrary inhomogeneous medium by cross correlation, *Phys. Rev. Lett.*, 93, 254301.
- Wapenaar, K. and Fokkema, J., 2006. Green's functions representations for seismic interferometry, *Geophysics*, 71, SI33-SI46.
- Wapenaar, K., Draganov, D., Sneider, R., Campman, X., Verdel A., 2010a. Tutorial on seismic interferometry: Part 1- Basic principles and applications. *Geophysics*, 75(5), P.75A195-209 doi:10.1190/1.3457445.
- Wapenaar, K., Slob, E., Sneider, R., Curtis, A., 2010b. Tutorial on seismic interferometry: Part 2- Underlying theory and new advances. *Geophysics*, 75(5), P.75A211-227 doi:10.1190/1.3463440.
- Weaver, R. L., and O. I. Lobkis 2001a., Ultrasonics without a source: Thermal fluctuation correlation at MHz frequencies, *Phys. Rev. Lett.*, 87, paper 134301.
- Weaver, R. L., and O. I. Lobkis, 2001b. On the emergence of the Green's function in the correlations of a diffuse field, *J. Acoust. Soc. Am.*, 110, 3011-3017.
- Wessel, P. and Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of generic mapping tools released, *EOS, Trans. Am. geophys. Un.*, 79 (47), 579-579
- Yang, Y., Zheng, Y., Chen, J., Zhou, S., Ceylan, S., Sandvol, E., Tilmann, F., Priestley, K., Hearn, T. M., Ni, J. F., Broewen, L. D., Ritzwoller, M. H., 2010. Rayleigh wave phase velocity maps of Tibet and the surrounding regions from ambient seismic noise tomography. *AGU 100 Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, doi.org/10.1029/2010GC003119.
- Zeng, X., and Thurber. C., 2019. Three-dimensional shear wave velocity structure revealed with ambient noise tomography in the Parkfield, California region. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* vol. 292, pp. 67-75.



KONUT SATIN ALIMINDA ALTERNATİF BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ

Emrah AYDEMİR^{1*}, Cemal AKTÜRK², Mehmet Ali YALÇINKAYA¹

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kırşehir, Türkiye

² Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Konut Satın Alma,
Karar Destek Sistemi,
Model.*

Öz

Barınma ihtiyacı, eski çağlardan günümüze kadar insanların en temel ihtiyaçları arasındaki yer almıştır. İnsanların barınma ihtiyacını karşılamak için kullanılan evler, yaşanan coğrafya, kullanılan malzeme vb. açısından çeşitli farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar, yapısal, güvenlik, ısınma, donanım ve yakınlık olarak beş ayrı kategori altında toplanabilir. Her bir kategori ise kendi alt gruplarına sahiptir. Mevcut konut satın alma sistemleri, konut özelliklerinin varlık ya da yokluk durumunu dikkate alarak ilanları sıralamaktadır. Fakat her alıcı için özellikleri sadece lojik 0 ya da lojik 1 ile ifade etmek uygun değildir. Bu gibi sorunları çözmek için alıcıların her bir kategoriye ve altındaki özelliklere -1 ile +1 arasında bir değer vermesinden oluşan bir model ortaya çıkarılmıştır. Bu sorunu çözmek için alıcıların kategoriler ve alt kategorilere -1 ile +1 arasında bir değer verilmesine dayanan bir model oluşturulmuş ve sunulmuştur. Bu model kullanılarak oluşturulan listede her konutun bir puanı oluşmakta ve alıcıya sıralanarak gösterilmektedir. Böylece alıcı için karar almada mevcut sistemlere kıyasla daha gerçekçi bir liste oluşturulmaktadır. Bu çalışmada İstanbul ilinin 39 ilçesindeki toplam 34844 konut incelenmiş ve 29 kriterden oluşturulan model geliştirilmiştir. Geliştirilen model, 40 adet örnek için test edilerek karar destek sisteminin yeterliliği gösterilmiştir. Ayrıca kişiye özel olarak sunulan alternatif bir karar destek sistemi ile sıralama tablosu gösterilmiştir.

AN ALTERNATIVE DECISION SUPPORT SYSTEM PROPOSAL IN HOUSE PURCHASE

Keywords

*Buying House,
Decision Support System,
Model.*

Abstract

The need for shelter has been among the most basic needs of people since ancient times. Houses used to meet people's accommodation needs differ in terms of geography, materials used and etc. These differences can be categorized under five categories: structural, security, heating, hardware and proximity. Each category has its own subgroups. Existing home purchasing systems list the postings taking into account the presence or absence of residential properties. However, it is not appropriate for buyers to mean the properties only with logic 0 or logic 1 values. To solve such problems, a model is created where buyers give a value between -1 and +1 to each category and the attributes under it. In the list created using this model, each house has a score and is shown to the buyer in order. Thus, a more realistic list is created that will assist the buyer in making decisions, compared to existing systems. In this study, a total of 34844 houses in 39 districts of Istanbul province were examined and a model formed from 29 criteria was developed. The developed model was tested for 40 samples and the adequacy of the decision support system was demonstrated. In addition, an alternative decision support system offered exclusively to the person and the ranking table is shown.

Alıntı / Cite

Aydemir, E., Aktürk, C., Yalçinkaya, M.A., (2020). Konut Satın Alımında Yeni Bir Karar Destek Sistemi Önerisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 677-691.

* İlgili yazar / Corresponding author: emrah.aydemir@ahievran.edu.tr, +90-386-280-38-00

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
E. Aydemir, 0000-0002-8380-7891	Başvuru Tarihi / Submission Date	17.02.2020
C. Aktürk, 0000-0003-3764-3862	Revizyon Tarihi / Revision Date	23.06.2020
M.A. Yalçınkaya, 0000-0002-7320-5643	Kabul Tarihi / Accepted Date	28.06.2020
	Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Giriş (Introduction)

İnsanların yaşamlarını sürdürebilmeleri için gidermeleri gereken en temel ihtiyaçlarının başında beslenme, giyim ve barınma gelmektedir. Barınma ihtiyacının temelinde, insanların kendilerini fırtına, kasırga, soğuk hava, heyelanlar ve zararlı canlılardan korumak yatmaktadır. İnsanlar; en ilkel çağlardan günümüze kadar, barınma ihtiyaçlarını bir şekilde karşılayabilmek için sürekli arayış içinde olmuşlardır. İnsanların barınma ihtiyacını karşılayan ev kavramı, göçebe toplumlardan yerleşik hayata geçen toplumlara kadarki tüm zaman dilimlerinde, farklı yapı ve formlarda ortaya çıkmıştır. Evler, bulunduğu coğrafyanın iklimine, yapısında kullanılan teknoloji ve malzemeye göre tarih boyunca değişiklik göstermiş ama insan hayatının vazgeçilmez unsuru olmaya devam etmiştir (Altun, 2017).

Konut sahibi olarak barınma ihtiyacının karşılanması, Maslow'un ihtiyaçlar hiyerarşisinde önemli bir yere sahiptir. Çünkü Maslow'un ihtiyaçlar hiyerarşisine göre nefes alma, yemek yeme, su içme gibi fizyolojik ihtiyaçlarını karşılayabilen bir insanın, yaşamının devamını sağlayabilmesi için, güvenlik ihtiyaçlarından olan barınma gereksinimini de karşılaması gerekmektedir. Barınma gereksinimini karşılayan bir insan, kendini gerçekleştirme doğrultusunda, diğer ihtiyaçları için çalışabilecektir (Baran, 2007).

Günümüzde insanların barınma ihtiyacını karşılayacak evlerin satın alınabilmesi için yüksek oranda maddi kaynak yaratılması gerekmektedir. Her ne kadar kiralama yöntemi ile barınma ihtiyacının karşılanması mümkün olsa da, insanlar için genel amaç kendisine ait bir eve sahip olmaktır. Evler, insanların barınma ihtiyacını karşılamının yanı sıra sosyal statülerini de simgeler duruma gelmiştir. Ev alma davranışı, insanlar için temel barınma ihtiyacını karşılamasının yanında, bazı durumlarda da yatırım amacı ile gerçekleştirilmektedir. Evler, değişen piyasa koşulları ve enflasyon oranları karşısında insanların birikiminin erimesine engel olan bir yatırım aracı olarak görülmektedir. Yatırım amacı ile alınan evlerin kiraya verilmesi, kişiler için ek bir gelir kaynağı da oluşturmaktadır.

Ev sahibi olmak için yeterli seviyede kaynağa sahip olan insanlar, sahip oldukları parayı kendilerince alınabilecek en mantıklı ev için kullanmayı amaçlamaktadırlar. Çünkü konut satın alımı; geri dönüşü olmayan, tek seferde en uygun seçeneğin tespit edilmesi gereken bir işlem olarak görülmektedir. Bu işlem, günümüz maddi koşullarında birçok aile için, bir kez yapılabilecek bir yatırım olma özelliği taşımaktadır. İnsanlar için bu denli önem arz eden ev alımında dikkat edilmesi gereken çeşitli kriterler bulunmaktadır. Konut alımında tüketicilerin dikkat etmesi gereken kriterler, Gayrimenkul ve Gayrimenkul Yatırım Ortaklığı Derneği tarafından bir listede yayınlanmıştır (GYODER, 2013). Aşağıda söz konusu kriterlerden başlıcaları verilmiştir.

- Satın almayı düşündüğünüz konutun kent merkezine göre konumu nedir? Toplu taşıma, hastane, okul, alışveriş merkezi gibi sosyal ihtiyaçlara olan yakınlığını araştırdınız mı?
- Konutunuzun gördüğü cephe nedir ve en yakın bina ile arasındaki mesafe kaç metredir?
- Satın almayı düşündüğünüz konutun brüt ve net alanlarını biliyor musunuz? Kat planlarını incelediniz mi?
- Satın almayı düşündüğünüz konutun satış fiyatına nelerin dahil olduğunu araştırdınız mı?
- Satın almayı düşündüğünüz konutun bulunduğu projede otopark, sosyal tesis ve spor alanları olup olmadığını, varsa bu alanların kullanımının bir ücrete tabi olup olmadığını öğrendiniz mi?
- Satın almayı düşündüğünüz konutun bulunduğu binanın ısıtma sistemi, ısı ve ses yalıtımı konusundaki taşıdığı özellikleri biliyor musunuz?
- Satın almayı düşündüğünüz konutun ortak giderlere katılım payı/aidatı sizin için kabul edilebilir düzeyde mi?

Yukarıda listelenen kriterler, yayınlanan liste içerisindeki diğer kriterlerin sadece küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Konut alımında dikkat edilmesi gereken kriter sayısının fazlalığı, alınacak kararın önemi ile birleştiğinde, insanların doğru seçimi yapmasında yardımcı olacak sistemlerin önemi büyük önem kazanmaktadır. Karar destek sistemleri (KDS), çeşitli problemler karşısında insanların daha verimli kararlar almalarına yardımcı olmak için geliştirilen bilgisayar destekli sistemlerdir. Söz konusu sistemler, karar verici kişilerin çeşitli kriterler ve kantılara dayalı olarak karar vermelerine yardımcı olmaktadır. Günümüzde karşılaşılan problemlerdeki seçeneklerin sayısının fazla olmasının yanında, kararı etkileyen kriterler arasındaki ilişkinin karmaşıklığı, insanların karar destek sistemlerine olan ihtiyacının artmasına neden olmuştur. Karar destek sistemleri, karar vermekle yükümlü kişilere yardımcı olabilmek adına çeşitli analitik modeller, veri tabanları ve etkileşimli kullanıcı ara yüzü içermektedir (Çil vd., 2014). Çeşitli problemler karşısında, karar vericilere destek olmak amacı ile

kullanılan 5 farklı türde karar destek sistemi bulunmaktadır. Bunlar; iletişim odaklı KDS, veri odaklı KDS, belgeye dayalı KDS, bilgi temelli KDS ve model odaklı KDS'dir. Veri odaklı KDS'leri; mevcut problemi çözmek adına uzmanlar tarafından oluşturulmuş büyük veri setlerini işleyerek, karar vericilere destek sunan sistemlerdir (Power, 2002).

Çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan yöntem, üçüncü bölümünde ise elde edilen araştırma bulguları verilmiştir. Çalışma, elde edilen bulguların tartışılması ve sonuçların sunulması ile tamamlanmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Literatürde insanların konut alımındaki kriterleri üzerine çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Tosun ve Fırat (2012) çalışmalarında; Bursa ilinde yaşayan insanların konut seçerken dikkate aldıkları kriterlerin belirlenmesi için bir anket çalışması gerçekleştirmişlerdir. Yayar ve Deniz (2014) çalışmalarında Mersin, Daşkiran (2015) çalışmasında Denizli kentlerinde konut taleplerine etki eden kriterlerin belirlenmesinde hedenik modeli kullanmışlardır. Aktürk ve Tekman (2016) gerçekleştirilen çalışmalarında, Erzurum kent merkezinde ikamet eden 640 kullanıcının, konut alımında dikkat ettiği kriterler betimsel tarama modeli ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca Şenyurt (2001), Baran (2007), Güneş (2009), Coşkun (2012) ve Şengül (2018) ülkemizde aile ve şahısların konut alma süreçlerinde dikkat ettikleri kriterler üzerinde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Literatürde karar destek sistemleri alanında gerçekleştirilen çalışmalardan incelenen ilk çalışma; Kul (2010) tarafından gerçekleştirilmiştir. İlgili çalışmada, büyükşehirler çevresinde yapılandırılan uydu kentlerin tasarlanmasında kullanılacak bir KDS geliştirilmiştir. Yavuz ve Çemrek (2013) çalışmalarında, sağlık çalışanlarının konut tercihlerini belirlemek amacı ile konjoint analiz tekniği kullanılmıştır. Nuuter ve Lill (2014) çalışmalarında, geliştirmiş oldukları bir KDS ile, Estonya' da konut piyasasının sürdürülebilirliğini analiz etmişlerdir. Hamurcu ve Eren (2015) çalışmalarında, yerel yönetimlerde ulaşım problemini çözmeye kullanılan toplu taşıma sistemlerinin en büyük problemi olan güzergâh belirleme işlemi için bir KDS geliştirmişlerdir. Alaybeyoğlu vd. (2016) çalışmalarında; herhangi bir şehirde aynı anda birden fazla mahallede kentsel dönüşüme ihtiyaç duyulması durumunda, aciliyet durumuna göre işleme hangi mahalleden başlanacağını belirleyen bir KDS geliştirmişlerdir. KDS'ler lojistik sektöründeki problemlere çözüm üretiminde (Kamışlı Öztürk, Güngör ve Lepki, 2016) kullanılmasının yanı sıra tedarikçi seçimi (Şahin ve Supçiller, 2015) gibi farklı karar verme durumlarında da kullanılmaktadır. KDS'leri daha hayati olan konulardan acil servislerde kullanımını görmek mümkündür (Özkaraca vd., 2018). Bostancı vd. (2017) gerçekleştirdikleri çalışmalarında bulanık karar verme tekniklerini kullanarak, iki farklı TOKİ toplu konut bölgesinde ikamet eden insanların, konutları hakkında memnuniyetlerini etkileyen faktörleri değerlendirmişlerdir.

Literatürde incelenen çalışmalar ile karşılaştırıldığında bu çalışma, oluşturulan veri seti ve problemin çözümü için geliştirilen karar destek sistemi yapısı yönünden özgün olma özelliği taşımaktadır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada; konut alım sürecinde kendisine verilen talepler doğrultusunda müşteriye uygun evlerin filtrelenmesinde kullanılacak, veri odaklı bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Konut alma karar destek modeli için öncelikle Türkiye'deki en fazla hane ve en fazla konut sayısına sahip olan İstanbul ili için geniş kapsamlı bir veri toplama çalışması yapılmıştır. Bunun için internet üzerindeki emlak ilan siteleri taranarak satılık daire ilanlarının tüm ayrıntıları her ilçe için ayrı kaydedilerek daha sonra tüm ilçeler birleştirilmiştir. Son durumda İstanbul'a ait 39 ilçenin tamamı için satılık daire ilan verileri elde edilmiştir. Araştırma verilerinin sağlıklı bir şekilde analiz edilebilmesi için her ilçe için 1000'e yakın güncel ilanlar araştırılmıştır. Bazı ilçelerin toplam ilan sayısı 1000'e ulaşmadığından dolayı bu ilçeler için var olan tüm ilanlar kaydedilmiştir. Daha sonra belirlenen her bir satılık ilanından, 29 farklı öznitelik verisi çıkartılarak bir veri seti oluşturulmuştur. Toplanan verilerden oluşturulan veri seti içerisinde 34844 örnek bulunmaktadır. Oluşturulan veri seti, alacakları konutun sahip olmasını istedikleri özellikler doğrultusunda, insanların en mantıklı kararı vermelerine yardımcı olacak bir karar destek sisteminin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Oluşturulan karar destek sisteminin, farklı ilanlar arasından, kullanıcı talepleri doğrultusunda oluşturulan ağırlık katsayılarına göre, alınması en mantıklı ilanları başarı ile sıraladığı görülmüştür.

3.1. Kriterlerin Belirlenmesi (Determination of Criteria)

Konut alma karar sürecinde alternatifleri değerlendirmede kullanılacak kriterler için öncelikle literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalarda konut alma problemi için kullanılan kriterler: konutun kullanım alanı (m²), oda sayısı, banyo sayısı gibi yapısal özelliklerden; garaj, asansör, havuz, otopark gibi olanaklardan ve sosyo-kültürel ihtiyaçların sunulduğu mekânlara olan uzaklıkları belirten kriterlerden oluşmaktadır (Aydın ve Erdoğan, 2011), (Tosun ve Fırat, 2012), (Özgür, 2013), (Yavuz ve Çemrek, 2013), (Yayar ve Deniz, 2014), (Aktürk ve

Tekman, 2016). Yapılan çalışmalarda ortak olarak kullanılan kriterler belirlenmiştir. Bu kriterlere ilave olarak konut alma kararına etkisi olacak birtakım kriterler de ilave edilmiştir. Sonrasında belirlenen kriterleri konutun yapısal özellikleri, güvenlik ve ısı ihtiyaçlarının karşılanması, konutun donanımsal özellikleri ve çeşitli mekânlara yakınlık durumlarına göre sınıflandırarak beş ana kategoriden oluşan bir karar modeli tasarlanmıştır. Karar modelinde kullanılması planlanan kriterler hiyerarşik olarak şu şekilde gösterilir.

1.Yapısal

- 1.1.Alan (m²)
- 1.2.Oda Sayısı
- 1.3.Bina Yaşı
- 1.4.Banyo Sayısı
- 1.5.Giyinme Odası
- 1.6.Kiler
- 1.7.Araç Park Yeri

2.Güvenlik

- 2.1.Hırsız Alarmı
- 2.2.Yangın Alarmı
- 2.3.Görüntülü Diyafor
- 2.4.Yüz tanıma / Parmak izi tanıma
- 2.5.Çelik Kapı
- 2.6.Güvenlik Personeli
- 2.7.Yangın Merdiveni
- 2.8.Polis Merkezi
- 2.9.İtfaiye

3.Isınma

- 3.1.Cephe Durumu
 - 3.1.1.Doğu
 - 3.1.2.Güney
 - 3.1.3.Batı
 - 3.1.4.Kuzey
- 3.2.Kat Durumu
 - 3.2.1.Ara kat
 - 3.2.2.Giriş kat
 - 3.2.3.En üst kat
- 3.3.Isıcam
- 3.4.Isı Yalıtımı

4.Donanım

- 4.1.Akıllı Ev
- 4.2.Alaturka Tuvalet
- 4.3.Sauna
- 4.4.Havuz
 - 4.4.1.Müstakil Özel Havuz
 - 4.4.2.Açık Havuz (Ortak Kullanım)
 - 4.4.3.Kapalı Havuz (Ortak Kullanım)
- 4.5.Asansör

5.Yakınlık

- 5.1.Eğitim Hizmetleri
 - 5.1.1.İlkokul – ortaokula yakınlık
 - 5.1.2.Liseye yakınlık
 - 5.1.3.Üniversiteye yakınlık
- 5.2.Sağlık Hizmetleri
 - 5.2.1.Hastaneye yakınlık
 - 5.2.2.Sağlık ocağı / tıp merkezi / kliniğe yakınlık
- 5.3.Sosyal İhtiyaçlar
 - 5.3.1.Alişveriş merkezine yakınlık
 - 5.3.2.Semt pazarına yakınlık
 - 5.3.3.Markete yakınlık
 - 5.3.4.Parka yakınlık
- 5.4.Ulaşım
 - 5.4.1.Şehir merkezine yakınlık
 - 5.4.2.Anayola yakınlık

- 5.4.3. Dolmuş durağına yakınlık
- 5.4.4. Otobüs durağına yakınlık
- 5.4.5. Metro istasyonuna yakınlık
- 5.4.6. Marmaray istasyonuna yakınlık
- 5.4.7. Metrobüs durağına yakınlık
- 5.4.8. Tramvay durağına yakınlık

Yakınlık kriterleri, satılık daire ilanlarında ilan verenin, dairesinin bu mekanlara yakın olup olmadığı konusundaki beyanatına göre hesaplanmış olup bu hesaplamada herhangi bir mesafe büyüklüğü kullanılmamaktadır. İlgili mekanlara yakın olanlar için "1", yakınlık durumu belirtilmeyenler için "0" ataması yapılarak kriter hesaplamaları yapılmıştır. Yine benzer şekilde sayısal bir büyüklük belirtmeyen güvenlik, ısınma ve donanım kriterlerinin tamamı ile yapısal kriterlerden "kiler", "araç park yeri" kriterleri için sadece "var/yok" verisi belirtildiğinden kriter değeri "var" olanlar "1" değeri ile, "yok" olanlar ve belirtilmemiş olanlar ise "0" değeri ile analiz edilmiştir.

3.2. Doğrusal Karar Modelinin Matematiksel İfadesi (Mathematical Expression Of The Linear Decision Model)

Buradaki çalışmada ağırlıklı toplam modelinin (Wikipedia, 2019) uygulanmasıyla alternatif bir karar destek sistemi önerilmiştir. Her bir alternatif ve kriteri öncelikle bir matrise dönüştürmek gerekmektedir. Bu amaçla a_1, a_2, \dots, a_n alternatifleri ifade etmek için kullanılacak olursa; karar modelinde kullanılan her bir kriter, 1. alternatif için $a_{11}, a_{12}, a_{13}, \dots, a_{1m}$ şeklinde ifade edilirse alternatif ve kriterlerden oluşan ve henüz işlem görmemiş $n \times m$ boyutundaki K matrisi Denklem 1'de gösterildiği gibi oluşturulur.

$$K = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2m} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{ij} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2. aşamada, her bir kriteri ifade eden K matrisinin sütunları için maksimum değerler ($\max a_{ij}$) hesaplanır ve her bir a_{ij} , hesaplanan maksimum kriter değerine bölünerek Denklem 2'deki gibi normalize edilmiş K matrisi elde edilir.

$$nK = \begin{bmatrix} a_{11}/a_{1\max} & a_{12}/a_{2\max} & a_{13}/a_{3\max} \\ a_{21}/a_{1\max} & a_{22}/a_{2\max} & a_{23}/a_{3\max} \\ a_{31}/a_{1\max} & a_{32}/a_{2\max} & a_{33}/a_{3\max} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{ij}/a_{1\max} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}/a_{1\max} & a_{n2}/a_{2\max} & a_{n3}/a_{3\max} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Sonrasında nK matrisinin her elemanının çarpma işlemine göre tersi alınarak doğrusal K matrisi elde edilir. Matris elemanları doğrusallaştırıldıktan sonra her bir sütundaki maksimum değerler yeniden hesaplanarak doğrusal matris yeniden normalize işlemine tabi tutularak karar matrisi elde edilir. Son durumda her bir alternatif için f_1, f_2, \dots, f_n ile ifade edilen amaç fonksiyonu Denklem 3'te gösterildiği gibi karar matrisi elemanlarını (x_{ij}) ağırlık katsayılarına çarpılarak ağırlıklı toplamlarıyla hesaplanır. Ağırlık katsayılarının toplamı Denklem 4'te gösterildiği gibi 1'e eşit olmak zorundadır. Son durumda alternatifler amaç fonksiyonu değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanarak en iyi değere sahip alternatif, ilgili karar probleminin çözümünü verir.

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2m} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \dots & x_{3m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{ij} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ \vdots \\ W_m \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (4)$$

3.3. Konut Alma Karar Modeli (Housing Decision Model)

Beş ana kategoride sınıflandırılan kriterler geliştirilen doğrusal karar modelinde de aynı şekilde fonksiyonlara dönüştürülerek bu fonksiyonların ağırlıklı toplamı olarak amaç fonksiyonunda Denklem 5'teki gibi ifade edilmiştir. F fonksiyonunun maksimum edilmesi amaçlanmıştır. Bir başka ifade ile konut alternatifleri için

hesaplanan F fonksiyonu değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanması, ilgili karar probleminin çözümünü oluşturacak ve en büyük F değerine sahip alternatif, belirtilen önceliklere göre alınabilecek en iyi konut olacaktır.

$$F(X) = W_1B(X) + W_2S(X) + W_3T(X) + W_4H(X) + W_5I(X) \quad (5)$$

Denklem 5'te; W_1, W_2, \dots, W_5 'ler ana kriterlerin amaç fonksiyonu içerisindeki ağırlık katsayılarını ifade etmektedir ve toplamları Denklem 4'te gösterildiği gibi 1'e eşit olmalıdır. B fonksiyonu yapısal kriterleri, S fonksiyonu güvenlik kriterlerini, T fonksiyonu ısınma kriterlerini, H fonksiyonu donanım kriterlerini ve I fonksiyonu ise yakınlık kriterlerini ifade etmek için geliştirilen ana kriter fonksiyonlarıdır.

Yapısal kriterler fonksiyonunun gösterildiği Denklem 6'da, $W_{11}, W_{12}, \dots, W_{18}$ 'ler kriterlerin ağırlık katsayılarını, m; dairenin metrekare cinsinden büyüklüğünü, r; oda sayısını, a; binanın yaşını, b; banyo sayısını, c; balkon sayısını, d; giyinme odasını, e; kileri, p fonksiyonu ise araç park yeri fonksiyonunu ifade etmektedir. Araç park yeri fonksiyonunun açılımı Denklem 7'de gösterilmiştir. Denklem 7'deki p (park) fonksiyonunda u; kapalı garajı, g; otoparkı, v ise araca ayrılmış park yerini belirtmektedir. Yine diğer denklemlerde olduğu gibi W ile gösterilen katsayılar her kriterin ağırlık katsayılarını ifade eder.

$$B(X) = W_{11}m + W_{12}r + W_{13}a + W_{14}b + W_{15}c + W_{16}d + W_{17}e + W_{18}p(x) \quad (6)$$

$$p(X) = W_{18_1}u + W_{18_2}g + W_{18_3}v \quad (7)$$

Denklem 8'de gösterilen S fonksiyonu ise güvenlik ile ilgili kriterleri için kullanılmaktadır. Bu denklemde de W'ler kriter ağırlık katsayılarını, A; hırsızlık alarmını, f; yangın alarmını, V; görüntülü diyafonu, R; yüz/parmak izi tanıma sistemini, D; çelik kapıyı, H; güvenlik personelini, L; yangın merdivenini, P; polis merkezini, F ise itfaiyeyi belirtmektedir.

$$S(X) = W_{21}A + W_{22}f + W_{23}V + W_{24}R + W_{25}D + W_{26}H + W_{27}L + W_{28}P + W_{29}F \quad (8)$$

Isınma ile ilgili alt kriterler Denklem 9'da gösterilmiştir. Denklem 9'da; W'ler alt kriterlerin ağırlık katsayılarını, h fonksiyonu; dairenin cephe durumunu, fl fonksiyonu dairenin kat durumunu, d_g; ısıcam kriterini, t_i ise ısı yalıtımı kriterini belirtmek için kullanılmıştır. Cephe durumunun ayrıntıları Denklem 10'da gösterilmiştir. Cephe durumu; gün ışığı alan doğu, güney ve batı cepheleri ile güneş almayan kuzey cephesi için karar vericilerin tercihinine göre belirlenecek ağırlık katsayılarıyla hesaplanmaktadır. East; doğu cephesini, West; batı cephesini, South; güney cephesini, North ise kuzey cephesini belirtmektedir. Isı yönünden avantajlı olması beklenen bir daire isteniyorsa, ilgili dairenin doğu, güney ve batıya cephelerinin olması tercih edilmeli, kuzey cephesi tercih edilmemelidir. Cephe tercihi için ağırlık katsayısı olarak -1 ile +1 arasındaki değerler kullanılabilir. Kat durumu fonksiyonu Denklem 11'de gösterilmiştir. Bu denklemde ağırlık katsayısı kullanılmamıştır. Çünkü dairenin ara kat, en üst kat veya giriş kat dairesi olup olmadığı ilan verilerinden tespit edilebildiği için bu kriterlerden hangisi geçerli ise karşılığında değer olarak "1" ile Denklem 7 hesaplanır. Bir daire aynı anda hem ara kat hem en üst kat hem de giriş kat olamayacağı için diğer kriterler "0" olacağından daire ara kat ise fl fonksiyonu 1; en üst kat veya giriş kat ise -1 değerini alacaktır.

$$T(X) = W_{31}h(x) + W_{32}fl(x) + W_{33}d_g + W_{34}t_i \quad (9)$$

$$h(X) = W_{31_1}East + W_{31_2}West + W_{31_3}South + W_{31_3}North \quad (10)$$

$$fl(x) = floor_m - (f_t + f_g) \quad (11)$$

Denklem 5'te gösterilen ve konuttaki donanımları ifade etmede kullanılan H fonksiyonunun ayrıntıları Denklem 12'de gösterilmiştir. Denklem 12'deki W'ler kriter ağırlık katsayılarını, s_h; akıllı ev kriterini, a_t; alaturka tuvalet kriterini, s_b; sauna kriterini, l; asansör kriterini, pl fonksiyonu ise havuz durumunu ifade etmek için kullanılmıştır. Havuz durumunu ifade eden pl fonksiyonunun ayrıntıları Denklem 13'te gösterilmektedir. Denklem 13'te W'ler ağırlık katsayılarını, [pr] _pool; daireye özel müstakil havuzu, o_pool; açık havuzu, i_pool ise kapalı havuzu ifade etmektedir.

$$H(X) = W_{41}s_h + W_{42}a_t + W_{43}s_b + W_{44}pl(X) + W_{45}l \quad (12)$$

$$pl(X) = W_{44_1}pr_{pool} + W_{44_2}o_{pool} + W_{44_3}i_{pool} \quad (13)$$

Denklem 14'teki I fonksiyonu yakınlık kriterlerini ifade etmek için kullanılmıştır. Denklem 14'teki W'ler kriter ağırlık katsayılarını, Sc fonksiyonu eğitim birimlerine olan yakınlığı, Hl fonksiyonu sağlık birimlerine olan yakınlığı, Sh fonksiyonu sosyal ihtiyaç mekanlarına olan yakınlığı, Tr fonksiyonu ise ulaşım ile ilgili yerlere olan yakınlığı ifade etmektedir. Eğitim yerlerine olan yakınlığı ifade eden Sc fonksiyonunun ayrıntıları Denklem 15'te gösterilmiştir. Denklem 15'teki; W'ler kriter ağırlık katsayılarını, elschool; ilkokul ve ortaokulu, hischool; liseyi ve unischool da üniversiteyi ifade eder. Karar verici hangi eğitim kurumlarına daha yakın olan bir daire almak istiyorsa ilgili kriterin ağırlık katsayısını yüksek girip istemediğini düşük girerek böylelikle ilan verileri arasında kendi kriter ağırlıklarına göre ilanların önceliklendirilmesini sağlamış olur.

$$I(X) = W5_1Sc(X) + W5_2Hl(X) + W5_3Sh(X) + W5_4Tr(X) \quad (14)$$

$$Sc(X) = W51_1el_{school} + W51_2hi_{school} + W51_3uni_{school} \quad (15)$$

Sağlık hizmetlerine yakınlığı belirten Hl fonksiyonunun ayrıntıları Denklem 16'da gösterilmiştir. W'ler yine kriter ağırlık katsayılarını, hospital; hastaneleri, clinic ise sağlık ocağı ve klinikleri ifade etmektedir.

$$Hl(X) = W52_1hospital + W52_2clinic \quad (16)$$

Sosyal ihtiyaçlar için belirlenen ana kriter fonksiyonuna ait ayrıntılar Denklem 17'de gösterilmektedir. Burada; W'ler kriter ağırlık katsayılarını, mall; alışveriş merkezlerini, market; marketleri, park; parkları ve bazaar ise semt pazarlarını ifade etmek için kullanılmıştır.

$$Sh(X) = W53_1mall + W53_2market + W53_3park + W53_4bazaar \quad (17)$$

Ulaşım yerlerine yakınlığı ifade etmede kullanılan Tr fonksiyonunun ayrıntıları Denklem 18'de gösterilmektedir. Denklem 18 incelenecek olursa; W'ler kriter ağırlık katsayılarını, central; şehir merkezine olan yakınlığı, arterialroad; ana yola olan yakınlığı, minibüs; dolmuş durağına yakınlığı, marmaray; Marmaray istasyonuna yakınlığı, metro; metro istasyonuna yakınlığı, metrobüs; metrobüs istasyonlarına yakınlığı, tram ise tramvay durağına olan yakınlığı ifade etmede kullanılan kriter isimleridir.

$$Tr(X) = W54_1central + W54_2arterial_{road} + W54_2minibüs + W54_2marmaray + W54_2metro + W54_2metrobüs + W54_2bus + W54_2tram \quad (18)$$

3.4. Karar Modelinin Uygulanması (Implementation of the Decision Model)

Öncelikle karar verici tarafından istenilen özelliklere göre filtrelenerek belirlenen konut ilan verileri bir elektronik veri kayıt sistemine kaydedilir. Yapılan çalışmada İstanbul ilinin Beylikdüzü ilçesindeki satılık daire ilanlarından rastgele 40 tanesi alınmıştır. Alternatif her ilan A1, A2,,,A40 olarak isimlendirilmiştir. Bir ilana ait karar modelinde kullanılan kriterler ise kendi adıyla girilmiştir. Tablo 1'de daire ilanlarına ait yapısal, güvenlik, ısıtma, donanım ve yakınlık kriterlerinin ekran görüntüsü görülmektedir. Ana kriterlere ve alt kriterlere ait kullanılan ağırlık katsayıları kriter isimlerinin üstündeki hücrelerde kırmızı renkli olarak gösterilmiştir. Tablo 1'de her bir ana kriterin fonksiyon değerinin ilgili bölümün son hücresinin yanında hesaplandığı gösterilmiştir. Tablo 1'nin en sağında ise her bir alternatif için hesaplanan amaç fonksiyonu (F) değerleri kırmızı renkle gösterilmiştir.

Karar modeli hesaplamalarında kriterlerden brüt m2, oda sayısı, bina yaşı ve banyo sayısı sayısal büyüklük olarak girilmiş olup diğer kriterler mevcutsa "1", değilse "0" ile kaydedilmiştir. İlan verileri girildikten sonra öncelikle her bir kriter için en iyi olarak kabul edilen değerler belirlenir. Bina yaşı haricindeki tüm kriterlerin maksimum değerde olması, bina yaşının ise minimum değerde olması tercih sebebi olacağından bina yaşı kriteri için en iyi değer olarak diğer kriterlerden farklı şekilde minimum kriter değeri esas alınır. Bu sayede kriterler X_1, X_2,,, X_n şeklinde isimlendirilecek olursa; max Xi (bina yaşı için min X_i) değerleri hesaplanır. İkinci aşamada her bir alternatif için her bir kriter değeri ilgili kriter için hesaplanan en iyi değere bölünerek normalizasyon işlemi yapılmış olur. Örnek olarak yapısal kriterlere ait normalize edilmiş değerler tablosuna ait ekran görüntüsü Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Yapısal Kriterlerin Normalize Değerler Tablosu (Table of Normalized Values of Structural Criteria)

İlan	YAPİ W 30									
	AĞIRLIK KATSAYILARI									
	35	35	10	5	5	3	1	50	30	20
m ² (Brüt)	Oda Sayısı	Bina Yaşı	Banyo Sayısı	Balkon	Kiler	Giyinme Odası	Araç Park Yeri w=6 Kapalı	w	Otopark	Araç Park
Ximax	max	max	min	max	max	max	max	max	max	max
	240	6	0,1	3	1	1	1	1	1	1
Normalize Değerler										
A1	0,33333333	0,5	0,033	0,3333	1	1	0	1	1	1
A2	0,29166667	0,3333	0,033	0,3333	1	0	0	0	0	0
A3	0,51666667	0,5	1	0,6667	1	0	1	0	0	0
A4	0,47916667	0,6667	0,1	0,6667	1	0	0	0	0	0
A5	0,5625	0,6667	1	0,6667	1	1	0	0	0	1
A6	0,60416667	0,5	0,008	0,6667	1	0	1	0	1	0
A7	1	0,8333	1	1	1	1	0	0	0	0
A8	0,72916667	0,6667	0,008	0,6667	1	0	0	1	0	0
A9	0,77083333	0,6667	0,007	0,6667	1	0	0	0	0	0
A10	1	1	0,007	0,6667	1	0	0	0	0	0
A11	0,13333333	0,1667	0,017	0,3333	0	1	1	0	0	0
A12	0,24583333	0,3333	0,014	0,3333	1	0	0	1	0	0
A13	0,27916667	0,3333	0,025	0,3333	0	0	0	0	0	0
A14	0,3	0,3333	0,013	0,3333	1	0	0	0	0	0
A15	0,32083333	0,3333	1	0,3333	1	0	1	0	1	0
A16	0,29166667	0,3333	1	0,3333	0	1	0	0	0	0
A17	0,27916667	0,3333	1	0,3333	1	0	0	0	0	1
A18	0,35416667	0,5	0,033	0,3333	1	0	0	0	0	0
A19	0,33333333	0,3333	0,011	0,3333	0	0	0	0	1	0
A20	0,33333333	0,3333	0,01	0,3333	0	0	0	0	0	0
A21	0,39583333	0,5	1	0,3333	1	1	0	1	0	0
A22	0,39583333	0,5	1	0,3333	1	0	0	0	1	0
A23	0,375	0,5	1	0,3333	1	0	0	0	0	0
A24	0,45833333	0,5	1	0,3333	1	0	0	0	0	1
A25	0,47916667	0,5	0,033	0,3333	1	1	0	0	1	0
A26	0,45833333	0,5	1	0,3333	1	0	0	0	1	0
A27	0,45833333	0,5	1	0,3333	1	1	0	0	1	0
A28	0,41666667	0,5	1	0,3333	1	0	0	1	0	0
A29	0,40833333	0,5	0,033	0,3333	1	1	0	0	0	0
A30	0,45833333	0,5	1	0,6667	1	0	0	1	0	0
A31	0,41666667	0,5	1	0,3333	1	0	0	1	0	0
A32	0,39583333	0,5	0,02	0,3333	1	0	0	0	1	0
A33	0,52916667	0,5	1	0,6667	1	0	0	0	0	0
A34	0,5	0,5	1	0,3333	1	0	0	0	1	1
A35	0,45833333	0,5	0,1	0,3333	1	1	0	0	0	1
A36	0,5	0,5	1	0,3333	1	0	1	0	0	1
A37	0,4875	0,5	1	0,3333	1	0	0	0	1	0
A38	0,54166667	0,6667	0,033	0,3333	1	0	0	1	0	0
A39	0,5	0,5	1	0,3333	1	0	0	0	1	1
A40	0,49166667	0,5	0,1	0,6667	1	1	0	0	0	0

Bir sonraki aşamada normalize edilen kriter değerlerinin çarpma işlemine göre tersi alınarak doğrusallaştırılması sağlanır. Burada 0'a bölme hatası olmaması için değerlerin 0'a eşit olup olmadığı da kontrol edilmektedir. Kriter değerleri için doğrusal karar matrisi oluşturulduktan sonra yeni tablo için tekrar en iyi değerler hesaplanır. Sonrasında her kriter için doğrusallaştırılan değerler maksimum değere bölünerek normalize edilmiş karar matrisi elde edilir. Karar matrisini hesapladıktan sonra yapılacak işlem ise artık Denklem 5'te gösterilen amaç fonksiyonunu ifade eden F fonksiyonunu hesaplamak için B, S, T, H ve I fonksiyonlarının değerlerini hesaplayarak bu fonksiyonların ağırlıklı toplamlarını almaktır. Fonksiyonların örnek 40 ilan için hesaplanan değerleri Tablo 1 ve Tablo 2'de fonksiyonların kendi adıyla belirtilen sütunlarda gösterilmektedir. Örnek hesaplamada kullanılan tüm ağırlık katsayıları toplamı 100'e eşit olacak şekilde örnek olarak girilmiş olup karar modelinde bu katsayılar 100'e bölünerek hesaplamalara dâhil edilmiştir.

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

4.1. Satılık Daire İlanlarına Ait Bulgular (Findings About Apartments For Sale)

Araştırmada İstanbul'un tüm ilçelerine ait toplam 34.843 adet satılık daire ilanı elde edilmiştir. Yapılan çalışmadan elde edilen ilan verileri incelendiğinde İstanbul'daki satılık daire ilanlarının ilçelere göre ortalama brüt m2 birim fiyatları ve her ilçedeki ilan sayıları Tablo 1'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Tablo 1 incelendiğinde; ortalama brüt m2 birim fiyatı en ucuz olan ilçenin 2.456,23 TL ile Arnavutköy ilçesi olduğu, en pahalı ilçenin de 17.309,15 TL ile Beşiktaş olduğu anlaşılmaktadır. İstanbul ilinin brüt m2 birim fiyat ortalaması ise 5.107,22 TL olarak hesaplanmıştır.

İstanbul ilindeki satılık dairelerin ilçelere ve oda sayılarına göre ortalama satış fiyatları Tablo 2'de gösterilmektedir. Oda sayısına göre ilçelerdeki satılık dairelerin ortalama fiyatlarına Tablo 2'den bakılacak olursa, 1+1 daireler için ortalama satış fiyatının en ucuz olduğu ilçe 163.671,05 TL ile Sultangazi ilçesi, en pahalı olduğu ilçe ise 873.000,00 TL ile Beşiktaş ilçesidir. İstanbul genelinde 1+1 dairelerin ortalama satış fiyatı ise 352.023,47 TL olarak hesaplanmıştır. Esenyurt 246.432,58 TL ortalama satış fiyatına göre 2+1 dairelerin en ucuz olduğu ilçedir. Buna karşın Sarıyer 1.463.946,49 TL ile 2+1 dairelerin en pahalı ortalama satış fiyatının olduğu ilçedir.

İstanbul genelindeki 2+1 dairelerin araştırma kapsamındaki ortalama satış fiyatı ise 418.388,77 TL olarak hesaplanmıştır. 3+1 daireler için İstanbul genelindeki ortalama satış fiyatı 796.677,05 TL olarak hesaplanmıştır. 3+1 dairelerin en ucuz olduğu ilçe 339.525,49 TL ile Arnavutköy, en pahalı olduğu ilçe ise 2.570.844,48 TL ile Beşiktaş'tır. 4+1 dairelerin İstanbul genelindeki ortalama satış fiyatı 1.973.434,36 TL'dir. 4+1 dairelerin ortalama satış fiyatına göre en ucuz olduğu ilçe 342.363,59 TL ile Arnavutköy, en pahalı olduğu ilçe ise 7.495.441,18 TL ile Beşiktaş olarak hesaplanmıştır. İlçelerin genel ortalamasına bakıldığında satılık dairelerin en ucuz olduğu ilçenin 269.604,12 TL ortalama satış fiyatı ile Arnavutköy olduğu, en pahalı ilçenin ise 2.735.397,72 TL ile Beşiktaş olduğu anlaşılmaktadır. İstanbul genelindeki bir dairenin ortalama satış fiyatı da 645.764,03 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3. İstanbul'daki Satılık Dairelerin İlçelere Göre Ortalama m² Birim Fiyatları (Average m² Prices of Apartments for Sale in Istanbul by Districts)

İlçe Adı	Ortalama Brüt m ² Birim Fiyatı	İlan Sayısı	İlçe Adı	Ortalama Brüt m ² Birim Fiyatı	İlan Sayısı
Adalar	7.403,95 TL	161	Gaziosmanpaşa	3.382,19 TL	992
Arnavutköy	2.456,23 TL	986	Güngören	3.582,41 TL	973
Ataşehir	5.195,34 TL	991	Kadıköy	9.711,75 TL	929
Avclar	3.122,60 TL	989	Kağıthane	4.202,98 TL	959
Bağcılar	3.558,14 TL	990	Kartal	4.268,39 TL	995
Bahçelievler	3.863,80 TL	991	Küçükçekmece	3.895,85 TL	898
Bakırköy	11.473,57 TL	990	Maltepe	4.322,94 TL	921
Başakşehir	4.615,21 TL	976	Pendik	3.309,98 TL	804
Bayrampaşa	4.131,94 TL	971	Sancaktepe	2.715,15 TL	957
Beşiktaş	17.309,15 TL	985	Sarıyer	13.907,25 TL	983
Beykoz	7.956,19 TL	442	Silivri	2.494,98 TL	937
Beylikdüzü	2.895,38 TL	987	Sultanbeyli	2.698,36 TL	899
Beyoğlu	8.496,03 TL	969	Sultangazi	2.669,35 TL	991
Büyükkçekmece	3.818,85 TL	990	Şile	3.379,86 TL	283
Çatalca	2.685,63 TL	228	Şişli	6.982,16 TL	979
Çekmeköy	3.229,32 TL	993	Tuzla	3.406,13 TL	982
Esenler	3.106,28 TL	961	Ümraniye	3.964,51 TL	955
Esenyurt	2.504,25 TL	956	Üsküdar	6.866,28 TL	882
Eyüpsultan	5.304,33 TL	991	Zeytinburnu	5.356,75 TL	980
Fatih	4.806,80 TL	997	Toplam	5.107,22 TL	34.843

Tablo 4. İstanbul'daki Satılık Dairelerin İlçelere Göre Ortalama Satış Fiyatları (Average Sale Prices of Apartments for Sale in Istanbul by Districts)

İlçe Adı	Ortalama Satış Fiyatı				İlçe Ortalaması
	1+1	2+1	3+1	4+1	
Adalar	290.000,00 TL	665.680,83 TL	1.022.374,63 TL	1.374.615,38 TL	962.816,98 TL
Arnavutköy	267.344,59 TL	247.984,51 TL	339.525,49 TL	342.363,59 TL	269.604,12 TL
Ataşehir	386.287,77 TL	461.463,43 TL	790.445,29 TL	1.382.738,79 TL	635.983,19 TL
Avclar	232.034,80 TL	295.213,34 TL	468.944,44 TL	852.591,84 TL	383.124,28 TL
Bağcılar	297.257,69 TL	341.376,30 TL	523.442,24 TL	621.657,89 TL	405.988,13 TL
Bahçelievler	230.803,28 TL	342.099,81 TL	550.559,79 TL	788.021,74 TL	429.096,14 TL
Bakırköy	630.627,45 TL	933.304,64 TL	1.770.800,30 TL	3.417.671,14 TL	1.632.169,17 TL
Başakşehir	308.338,24 TL	441.479,74 TL	718.446,72 TL	1.219.398,77 TL	659.815,90 TL
Bayrampaşa	309.297,56 TL	359.659,98 TL	751.842,47 TL	838.437,50 TL	447.868,49 TL
Beşiktaş	873.000,00 TL	1.341.526,95 TL	2.570.844,48 TL	7.495.441,18 TL	2.735.397,72 TL
Beykoz	703.764,71 TL	729.606,19 TL	1.085.253,46 TL	2.838.962,26 TL	1.200.936,25 TL
Beylikdüzü	203.280,23 TL	288.038,56 TL	528.386,79 TL	916.571,43 TL	390.716,34 TL
Beyoğlu	577.726,03 TL	744.219,73 TL	1.296.718,12 TL	2.573.275,86 TL	975.342,94 TL
Büyükkçekmece	266.524,19 TL	376.039,10 TL	629.378,15 TL	1.254.075,00 TL	552.752,00 TL
Çatalca	201.600,00 TL	272.307,28 TL	359.942,31 TL	441.000,00 TL	314.548,22 TL
Çekmeköy	221.852,46 TL	312.760,43 TL	467.441,39 TL	682.105,54 TL	364.870,19 TL
Esenler	199.522,12 TL	283.869,24 TL	396.934,90 TL	434.714,29 TL	306.511,06 TL
Esenyurt	213.055,73 TL	246.432,58 TL	379.778,13 TL	686.500,00 TL	276.956,51 TL
Eyüpsultan	397.816,67 TL	445.032,44 TL	943.786,43 TL	1.855.061,22 TL	693.025,50 TL
Fatih	261.687,08 TL	407.478,33 TL	751.457,04 TL	1.011.641,03 TL	498.371,39 TL
Gaziosmanpaşa	315.843,75 TL	322.885,35 TL	536.708,03 TL	657.171,43 TL	376.118,35 TL
Güngören	239.526,79 TL	325.632,41 TL	482.840,26 TL	557.302,33 TL	384.832,79 TL
Kadıköy	448.640,00 TL	696.732,62 TL	1.308.316,62 TL	2.452.581,08 TL	1.330.092,21 TL
Kağıthane	294.934,51 TL	385.588,01 TL	544.157,58 TL	639.046,51 TL	412.956,04 TL
Kartal	436.300,00 TL	401.148,89 TL	572.521,60 TL	1.068.515,15 TL	500.131,34 TL
Küçükçekmece	300.062,04 TL	339.473,88 TL	600.714,99 TL	911.838,46 TL	443.114,44 TL
Maltepe	310.911,39 TL	402.426,18 TL	572.937,38 TL	838.316,67 TL	477.217,71 TL
Pendik	245.099,81 TL	313.771,52 TL	441.613,11 TL	867.741,38 TL	378.836,47 TL
Sancaktepe	248.757,41 TL	282.510,47 TL	371.575,60 TL	350.250,00 TL	317.196,85 TL
Sarıyer	793.621,62 TL	1.463.946,49 TL	2.509.859,76 TL	4.250.149,35 TL	2.320.055,36 TL
Silivri	172.108,70 TL	249.133,20 TL	364.696,98 TL	637.592,59 TL	315.990,37 TL
Sultanbeyli	231.357,73 TL	268.122,52 TL	361.436,25 TL	386.437,50 TL	303.588,21 TL
Sultangazi	163.671,05 TL	272.103,64 TL	381.186,98 TL	389.461,54 TL	287.392,93 TL
Şile	230.285,71 TL	326.818,74 TL	423.428,57 TL	577.727,27 TL	366.413,12 TL
Şişli	503.874,59 TL	630.149,90 TL	1.200.121,50 TL	1.902.569,44 TL	869.787,42 TL
Tuzla	234.141,46 TL	328.989,89 TL	487.068,42 TL	709.574,98 TL	384.107,38 TL
Ümraniye	284.250,00 TL	368.168,65 TL	542.036,83 TL	777.735,85 TL	436.386,22 TL
Üsküdar	330.292,31 TL	536.167,87 TL	939.290,95 TL	2.371.600,00 TL	848.565,42 TL
Zeytinburnu	418.254,67 TL	457.864,87 TL	863.518,03 TL	1.558.984,62 TL	649.866,50 TL
Genel Ortalama	352.023,47 TL	418.388,77 TL	796.677,05 TL	1.973.434,36 TL	645.764,03 TL

İstanbul'daki satılık dairelerin ilçelere göre bina yaşları Tablo 3'te sunulmuştur. Tablo 3 incelendiğinde; Adalar, Ataşehir, Başakşehir, Beşiktaş, Beykoz, Beyoğlu, Büyükçekmece, Fatih, Güngören, Sarıyer ve Zeytinburnu haricindeki tüm ilçelerde en fazla satılık dairelerin sıfır daireler olduğu anlaşılmaktadır. İlçelerdeki satılık dairelerin ortalama yaşlarına bakıldığında en yaşlı binaların 24,27 yaş ortalamasıyla Adalar ilçesinde olduğu görülmektedir. Buna karşın en yeni daireler 1,69 yaş ortalamasıyla Arnavutköy ilçesinde bulunmaktadır. Araştırma verilerine göre İstanbul ilindeki incelenen satılık dairelerin yaş ortalaması ise 8,49 olarak hesaplanmıştır.

İstanbul'daki satılık dairelerin ısınma türleri Tablo 4'te gösterilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde, dairelerin büyük çoğunluğunun (% 79,35) ısınma yöntemi olarak doğalgazı kullandığı, dairelerin yaklaşık % 20'sinin ise merkezi sistemle ısıtıldığı anlaşılmaktadır. Ancak ilan verilerinde merkezi sistemde kömür, doğalgaz vb. hangi yakıt türünün kullanıldığı belirtilmemiştir. Genel olarak tüm ilçelerde dairelerin çoğunluğunun doğalgaz ve bireysel kombiyle ısıtılmasına karşın sadece Başakşehir ilçesinde dairelerin % 65,73 gibi büyük bir kısmının pay ölçer ile merkezi sistemde ısıtıldığı görülmektedir. İlçeler nezdinde doğalgazdan sonra ısıtmada en çok Adalar'da dairelerin % 16,15'inde klima kullanılmaktadır. Buna karşın İstanbul genelinde ısıtmada en az kullanılan yöntemin klima olduğu görülmektedir (% 0,15).

4.2. Konut Alma Karar Destek Modeli Uygulama Sonuçları (Housing Decision Support Model Implementation Results)

40 adet örnek ilan verisi üzerinden yapılan uygulamada her bir ilan kaydı bir alternatif olarak değerlendirilerek A1,A2,,A40 şeklinde isimlendirilmiştir. Konut alma karar modelinin örnek ilan alternatiflerine uygulanması sonrasında elde edilen ana kriterlere ve amaç fonksiyonuna ait bulunan değerler Tablo 5'te gösterilmiştir. Alternatiflerin amaç fonksiyonu değerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanmış hali ise Tablo 6'da gösterilmiştir. Tablo 6 incelendiğinde, amaç fonksiyonuna (F) göre alternatifler büyükten küçüğe doğru sıralandığında, girilen ağırlık katsayılarına göre en iyi değere sahip alternatifin A1 ilanındaki daire olduğu görülmektedir. İkinci en iyi daire A11 ilanındaki dairedir. Sonraki en iyi dairelere ait ilanlar sırasıyla A28, A24 ve A3 olarak devam etmektedir. Girilen örnek ağırlık katsayılarına göre beklentileri karşılamada en yetersiz kalan dairenin ise A25 ilanı olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 5. İstanbul'daki Satılık Dairelerin İlçelere Göre Bina Yaşı (Age of Apartments for Sale in Istanbul by District)

İlçe adı	Bina Yaşı											Ort.
	0	1	2	3	4	5-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31+	
Adalar	1	-	-	-	2	2	-	18	53	61	24	24,27
Arnavutköy	615	68	52	52	48	118	25	7	1	-	-	1,69
Ataşehir	204	57	48	34	121	316	61	70	47	27	6	6,57
Avcılar	335	35	33	46	77	186	33	82	103	50	9	7,44
Bağcılar	225	48	53	51	78	173	60	107	141	46	8	8,88
Bahçelievler	261	24	31	26	33	139	50	70	141	156	60	12,26
Bakırköy	261	42	35	22	30	73	81	31	89	121	205	14,16
Başakşehir	206	106	89	102	100	238	74	44	15	2	-	4,55
Bayrampaşa	327	46	28	44	81	154	43	67	87	65	29	7,96
Beşiktaş	110	27	17	25	56	59	30	94	132	220	215	18,68
Beykoz	16	4	5	2	21	82	91	112	43	35	31	14,65
Beylikdüzü	563	41	47	54	97	101	38	38	8	-	-	2,60
Beyoğlu	144	31	18	18	29	125	48	71	71	96	318	17,65
Büyükçekmece	252	31	34	45	64	266	70	94	73	31	30	8,01
Çatalca	93	10	12	8	15	31	19	14	14	9	3	6,21
Çekmeköy	371	91	64	62	106	218	58	21	1	1	-	3,26
Esenler	218	35	52	66	67	160	63	98	149	47	6	9,08
Esenyurt	321	88	77	88	125	203	24	24	6	-	-	3,19
Eyüpsultan	395	75	58	45	77	233	68	14	8	10	8	3,82
Fatih	66	8	15	7	12	36	18	47	75	288	425	24,44
Gaziosmanpaşa	279	28	46	43	76	171	81	136	93	28	11	8,08
Güngören	72	22	17	16	36	76	19	63	265	261	126	19,44
Kadıköy	439	97	66	27	12	23	9	20	63	96	77	7,95
Kağıthane	276	75	79	78	152	144	33	75	35	7	5	4,93
Kartal	385	71	60	40	63	150	33	71	72	38	12	6,09
Küçükçekmece	255	81	55	53	84	183	27	77	56	19	8	6,03
Maltepe	325	58	59	45	76	113	18	57	82	64	24	7,36
Pendik	294	60	30	27	61	198	52	39	27	13	3	4,93
Sancaktepe	357	120	92	101	128	134	19	6	-	-	-	2,35
Sarıyer	126	99	75	83	85	162	69	117	73	48	46	9,16
Silivri	338	62	43	43	62	166	52	89	48	28	6	6,04
Sultanbeyli	449	153	83	62	71	18	20	35	6	2	-	2,13
Sultangazi	330	38	47	49	82	212	110	80	27	15	1	5,64
Şile	92	5	13	9	16	36	21	46	28	16	1	8,66
Şişli	192	57	44	34	51	100	69	82	81	102	167	13,44
Tuzla	368	82	67	70	127	171	36	37	8	9	7	3,73
Ümraniye	290	42	45	40	77	271	103	57	20	8	2	5,35
Üsküdar	273	33	31	26	43	82	34	78	84	106	92	11,59
Zeytinburnu	121	73	35	16	53	48	48	150	250	62	7	12,16
Toplam	10245	2123	1755	1659	5488	1807	2438	2575	2187	1972	1807	8,49

Tablo 6. İstanbul'daki Satılık Dairelerin Isınma Türüne Göre Yüzde Dağılımı (Percentage Distribution of Apartments for Sale in Istanbul by Type of Heating)

İlçe Adı	Doğalgaz (Kombi)	Doğalgaz Sobası	Kat Kaloriferi	Klima	Merkezi Sistem	Merkezi Sistem (Pay Ölçer)	Soba	Genel Toplam
Adalar	76,92	1,54	2,31	16,15	0,77	0,00	2,31	100,00
Arnavutköy	92,25	0,71	0,82	0,00	2,45	3,77	0,00	100,00
Ataşehir	70,77	0,31	0,92	0,00	2,95	24,85	0,20	100,00
Avcılar	82,41	0,61	0,61	0,00	1,33	15,03	0,00	100,00
Bağcılar	78,07	1,13	1,02	0,00	0,51	18,03	1,23	100,00
Bahçelievler	92,32	1,43	0,31	0,10	2,35	3,17	0,31	100,00
Bakırköy	67,37	0,42	0,21	0,00	19,62	12,38	0,00	100,00
Başakşehir	28,44	0,21	0,42	0,00	5,10	65,73	0,10	100,00
Bayrampaşa	85,95	4,30	1,47	0,10	0,10	7,86	0,21	100,00
Beşiktaş	53,69	0,21	0,62	0,21	27,41	17,86	0,00	100,00
Beykoz	94,77	0,71	0,24	0,24	2,85	1,19	0,00	100,00
Beylikdüzü	83,33	0,10	0,71	0,00	1,73	14,13	0,00	100,00
Beyoğlu	90,61	0,53	0,00	0,32	3,16	3,90	1,48	100,00
Büyükçekmece	88,61	0,62	0,62	0,00	3,31	6,42	0,41	100,00
Çatalca	96,86	0,90	0,00	0,00	0,00	0,45	1,79	100,00
Çekmeköy	85,89	0,61	0,51	0,00	0,51	12,39	0,10	100,00
Esenler	84,05	4,59	0,10	0,10	0,73	9,70	0,73	100,00
Esenyurt	71,17	0,74	0,64	0,00	2,66	24,79	0,00	100,00
Eyüpsultan	78,83	0,31	0,51	0,41	0,62	19,32	0,00	100,00
Fatih	86,49	7,27	1,94	0,31	1,13	1,54	1,33	100,00
Gaziosmanpaşa	86,03	2,55	0,20	0,10	2,75	8,26	0,10	100,00
Güngören	85,91	3,34	0,31	0,21	6,05	3,44	0,73	100,00
Kadıköy	53,53	0,67	0,11	0,11	12,77	32,70	0,11	100,00
Kağıthane	84,28	0,52	0,31	0,00	1,78	12,79	0,31	100,00
Kartal	73,31	0,10	0,62	0,10	3,12	22,74	0,00	100,00
Küçükçekmece	74,71	1,26	0,69	0,00	2,75	20,37	0,23	100,00
Maltepe	79,16	0,55	0,00	0,11	3,66	16,52	0,00	100,00
Pendik	80,61	0,51	0,64	0,00	1,28	16,71	0,26	100,00
Sancaktepe	86,77	0,32	0,42	0,00	0,32	12,17	0,00	100,00
Sarıyer	47,06	0,22	0,22	0,11	11,10	40,95	0,33	100,00
Silivri	88,61	0,44	0,66	0,22	0,44	9,20	0,44	100,00
Sultanbeyli	80,16	0,33	0,33	0,00	1,00	17,61	0,56	100,00
Sultangazi	93,50	1,32	0,61	0,00	0,41	4,07	0,10	100,00
Şile	94,42	0,37	0,74	0,00	2,60	1,12	0,74	100,00
Şişli	79,90	0,21	0,83	0,21	11,81	6,94	0,10	100,00
Tuzla	58,62	0,00	0,72	0,00	1,85	38,40	0,41	100,00
Ümraniye	84,04	0,11	0,74	0,00	1,27	13,85	0,00	100,00
Üsküdar	86,36	1,05	0,23	0,12	5,36	6,88	0,00	100,00
Zeytinburnu	75,85	2,38	0,73	0,21	1,76	17,93	1,14	100,00
Genel Toplam	78,21	1,14	0,57	0,15	4,06	15,53	0,33	100,00

Tablo 7. Alternatifler İçin Hesaplanan Fonksiyon Değerleri (Calculated Function Values for Alternatives)

Alternatif	B(X)	S(X)	T(X)	H(X)	I(X)	F(X)
A1	0,45	0,3	0,639	0,6	0,96	0,6087
A2	0,438333	0,65	0,44	0,6	0,15	0,4185
A3	0,391989	0,1	0,619	0,6	0,38	0,449297
A4	0,269891	0,15	0,22	0,4	0,24	0,249967
A5	0,387463	0	0,219	0,4	0,28	0,277939
A6	0,297741	0,3	0,12	0,6	0,25	0,265322
A7	0,313333	0,2	0,043	0,64	0,17	0,2249
A8	0,257269	0	0,219	0,6	0,45	0,292881
A9	0,223755	0,05	0,219	0,4	0,24	0,225826
A10	0,180667	0,5	0,44	0	0,28	0,2922
A11	0,791667	0,25	0,719	0	0,31	0,5402
A12	0,496259	0	0,619	0,52	0,16	0,418578
A13	0,394664	0,2	0,222	0,2	0,44	0,312999
A14	0,431806	0,3	0,12	0,2	0,56	0,327542
A15	0,548455	0,05	0,222	0	0,38	0,312136
A16	0,515	0	0,12	0	0,18	0,2265
A17	0,554164	0	0,319	0	0,18	0,297949
A18	0,351765	0,15	0,619	0	0,11	0,328229
A19	0,384111	0,35	0,638	0,24	0,2	0,405633
A20	0,366	0,25	0,44	0,2	0,17	0,3208
A21	0,494561	0	0,12	0,3	0,1	0,234368
A22	0,452561	0,2	0,318	0	0,16	0,283168
A23	0,441111	0,15	0,22	0,4	0,16	0,285333
A24	0,430485	0,2	0,222	0,4	1	0,455745
A25	0,365391	0,05	0,12	0,44	0,04	0,202617
A26	0,436485	0	0,443	0,64	0,12	0,351845
A27	0,466485	0,2	0,718	0,6	0,02	0,439345
A28	0,458667	0	0,718	0,6	0,32	0,477
A29	0,364286	0,35	0,417	0	0,57	0,383386
A30	0,423485	0,15	0,12	0	0,25	0,228045
A31	0,458667	0	0,219	0	0,17	0,2373
A32	0,354561	0,2	0,319	0	0,16	0,254068
A33	0,379856	0,3	0,52	0,2	0,25	0,369957
A34	0,44	0,1	0,238	0,3	0,08	0,2594
A35	0,370485	0,1	0,219	0,2	1	0,406845
A36	0,432	0	0,222	0,4	0,2	0,2762
A37	0,430393	0,15	0,44	0,4	0	0,316118
A38	0,306987	0,1	0,318	0,5	0	0,247496
A39	0,44	0,35	0,322	0,6	0,52	0,4276
A40	0,326582	0,5	0,622	0,2	0,29	0,412575

Tablo 8. Alternatiflerin Amaç Fonksiyonu Değerleri ve Sıralı Karar Tablosu (Objective Function Values of Alternatives and Sequential Decision Table)

Sıra No	F(X)	Alternatif	Sıra No	F(X)	Alternatif
1	0,6087	A1	21	0,31214	A15
2	0,5402	A11	22	0,29795	A17
3	0,477	A28	23	0,29288	A8
4	0,455745	A24	24	0,2922	A10
5	0,449297	A3	25	0,28533	A23
6	0,439345	A27	26	0,28317	A22
7	0,4276	A39	27	0,27794	A5
8	0,418578	A12	28	0,2762	A36
9	0,4185	x2	29	0,26532	A6
10	0,412575	A40	30	0,2594	A34
11	0,406845	A35	31	0,25407	A32
12	0,405633	A19	32	0,24997	A4
13	0,383386	A29	33	0,2475	A38
14	0,369957	A33	34	0,2373	A31
15	0,351845	A26	35	0,23437	A21
16	0,328229	A18	36	0,22805	A30
17	0,327542	A14	37	0,2265	A16
18	0,3208	A20	38	0,22583	A9
19	0,316118	A37	39	0,2249	A7
20	0,312999	A13	40	0,20262	A25

5. Araştırma Bulguları (Research Findings)

İş hayatında ve günlük hayatta insanlar birtakım kararları vermekte çeşitli sorunlar yaşamakta ve yanlış bir karar vermekten çekindikleri için de çoğu zaman önemli konularda karar vermeleri gerekirken kararsızlık yaşamaktadır. Konut alma da insanların birikiminin büyüklüğüne, ödeme gücüne ve konuta dair birçok özelliğe bağlı olarak verilecek bir karar olduğu için günlük hayatta çoğu insanın yaşadığı karar problemlerinin başında gelmektedir. Yapılan çalışmada konut alma problemi için insanların alternatif konutları kendi önceliklerine göre matematiksel bir karar modeli ile sıralayarak beklentilerine uygun konutlara karar vermelerini kolaylaştıracak bir karar destek modeli önerilmiştir. Önerilen karar destek modeli doğrusal bir karar modeline dayanmaktadır. Doğrusal karar modeli; amaç fonksiyonunun maksimizasyonunu sağlayan ana kriterler ve alt kriterlerin ağırlıklandırılmış toplamını alma esasına dayanır. Çalışmada önerilen doğrusal karar modeli beş ana kritere ait toplam 29 kriterden oluşmaktadır. Kriterlerin yedisi, 27 adet alt kriterin hesaplanmasından elde edilmektedir. Konut alma problemini ele alma bakımından yapılan çalışmada önerilen matematiksel model ve kullanılan kriterler bu alandaki geçmiş çalışmalara nazaran oldukça yeni ve özgün niteliktedir. Ayrıca yapılan çalışmada karar modelinin uygulanmasına ek olarak İstanbul ilinin 39 ilçesine ait internet sitelerindeki açık kaynaklardan toplam 34.843 adet ilandan oluşan bir veri seti oluşturulmuş olup İstanbul ilinin ilçelerine göre genel bir konut profili de çıkarılmış, ilçelere, oda sayılarına göre dairelerin ortalama fiyatları, ısınma türleri, bina yaşları hesaplanmıştır. Bulgulara göre genel olarak İstanbul'un en pahalı ilçesi Beşiktaş olarak karşımıza çıkmaktadır. En ucuz daire fiyatlarının olduğu ilçeler ise sırasıyla Arnavutköy, Sultangazi ve Esenyurt ilçeleri olarak görülmüştür. Yapılan çalışma bir metropol şehirdeki satılık daire ilanlarıyla ilgili veri seti oluşturma ve kentin konut profilini ortaya çıkarma açısından da yenilikçi ve özgündür. Buradaki çalışmaya benzer şekilde Fuzzy TOPSIS yaklaşımı da faktörleri önceliklendirmede kullanılmaktadır (Rafi vd., 2020). Bunların dışında çok kriterli karar destek sistemlerinde PROMETHEE (Tian, Xu ve Gu, 2019), ELECTRE (Jahan ve Zavadskas, 2019), VIKOR (Fei, Deng ve Hu, 2019), AHP (Ecer, 2020) ve KEMIRA (Sarıçali ve Kundakci, 2019) gibi çeşitli modeller de kullanılmaktadır. Buradaki çalışma Fuzzy TOPSIS modeli ile kısmi bir benzerlik göstermektedir. Fuzzy TOPSIS modellerinde de alternatifler arasındaki kararlar verilirken her bir ölçütün önem dereceleri net ve kesindir. Yine Fuzzy TOPSIS modelinde de ideal çözüme yakınlığı gösteren bir indeks kullanılır ve bu indeksin maksimum olduğu alternatif tercih edilir (Masud ve Ravindran, 2008). ELECTRE yönteminin ise iki alternatifi karşılaştırması nedeniyle buradaki çalışmadan farklı özelliği vardır. PROMETHEE modelinde de sınırlı sayıda alternatif için birbiriyle çelişen ölçütlerin karşılaştırılması yaklaşımı vardır (Liu, Cheng ve Zhang, 2019). Bu anlamda buradaki çalışma ile bir kısım benzerlikler taşıdığı söylenebilir. Buradaki çalışmanın farklılığı ise hem ölçütlerin her birine yönelik bir ağırlık verilebilmesi hem de bu ölçütlerin yer aldığı gruba bir ağırlık verilebilmesidir. Buradaki bu hiyerarşik yapı AHP modeli ile de benzerlik göstermektedir (Calabrese vd., 2019).

Bu çalışmada karar modelindeki ağırlık katsayıları örnek olarak kullanılmıştır. Sonraki çalışmalarda ağırlık katsayıları belirli bir katılımcı grubunun taleplerine göre hesaplanabilir. Yapay sinir ağları, genetik algoritma gibi yapay zekâ teknikleri kullanılarak uygun ağırlık katsayıları belirlenebilir. Ayrıca konut ilanlarının yayımlandığı web sayfalarına önerilen karar destek modeli entegre edilerek insanların ilan araştırırken sadece filtreleme yapmaları yerine istediği kritere istediği ağırlık katsayılarını girerek kendi beklentilerine uygun olan ilanların önceliklerine göre sıralanması sağlanabilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Aktürk, E., ve Tekman, N., 2016. Konut Talebi Ve Erzurum Kent Merkezinde Tüketicilerin Konut Edinme Kararlarını Etkileyen Faktörler. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 30(2), 432-440.
- Alaybeyoğlu, A., Kılıç, U., İregöl, A., Konbul, Y., 2016. Kentsel Dönüşümde Mahalleler Arası Öncelik Sıralaması: Örnek Bir Karar Destek Sistemi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 21(2), 377-402.
- Altun, D., 2017. Konut Satın Alma Kararını Belirleyen Faktörler; Karaman İline Yönelik Bir Araştırma. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi. Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi, Karaman.
- Aydın, G., ve Erdoğan, A., 2011. Web Tabanlı Bir Mekânsal Karar Destek Sistemi Tasarımı Ve Geliştirilmesi. *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Elazığ, Türkiye*.
- Baran, H., 2007. Ailelerin Konut Satın Alma Tutum ve Davranışları Üzerinde Bir Araştırma. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Bostancı, B., Bakır, N. Y., Doğan, U., Güngör, M. K., 2017. Bulanık Karar Verme Teknikleri İle CBS Destekli Konut Memnuniyeti Araştırması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), 1193-1208.
- Calabrese, A., Costa, R., Levaldi, N., Menichini, T., 2019. Integrating sustainability into strategic decision-making: A fuzzy AHP method for the selection of relevant sustainability issues. *Technological Forecasting and Social Change*, 139, 155-168.
- Coşkun, Y., 2016. Konut Fiyatları Ve Yatırımı: Türkiye İçin Bir Analiz. *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 201-217.
- Çil, İ., Tokat, M. A., Türkan, Y. S., Doğan, N., 2014. Temel Eğitim Kurumlarında E-Rehberlik Ve Danışmanlık Karar Destek Sistemi. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 29(29-2), 34-56.
- Daşkıran, F., 2015. Denizli Kentinde Konut Talebine Etki Eden Faktörlerin Hedonik Fiyatlandırma Modeli İle Tahmin Edilmesi. *Journal of International Social Research*, 8(37), 850-857.
- Ecer, F., 2020. Multi-Criteria Decision Making For Green Supplier Selection Using Interval Type-2 Fuzzy AHP: A Case Study Of A Home Appliance Manufacturer. *Operational Research*, 1-35.
- Fei, L., Deng, Y., Hu, Y., 2019. DS-VIKOR: A New Multi-Criteria Decision-Making Method For Supplier Selection. *International Journal of Fuzzy Systems*, 21(1), 157-175.
- Gayrimenkul ve Gayrimenkul Yatırım Ortaklığı Derneği (GYODER), 2013. 50 Soruda Tüketicinin Konut Alım Rehberi. [https://www.gyoder.org.tr /uploads/Yayinlar/sektorel_yayinlar/GYODER_PDF__20131230164525_2506konut-al1m-rehberi.pdf](https://www.gyoder.org.tr/uploads/Yayinlar/sektorel_yayinlar/GYODER_PDF__20131230164525_2506konut-al1m-rehberi.pdf) Erişim Tarihi: 10.01.2020.
- Güneş, C., 2009. Türkiye'de Hanelerin Konut Tercihi: Ekonometrik Yaklaşım. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Hamurcu, M., Eren, T., 2015. Ankara Büyükşehir Belediyesi'nde Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi ile Monoray Güzergâh Seçimi. 8. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul, Türkiye.
- Jahan, A., Zavadskas, E. K., 2019. ELECTRE-IDAT For Design Decision-Making Problems With Interval Data And Target-Based Criteria. *Soft Computing*, 23(1), 129-143.
- Kamışlı Öztürk, Z., Güngör, K., Lepki, B., 2016. Lojistik Sektöründe Çok Amaçlı Kapı Atama Problemleri İçin Bir Karar Destek Sistemi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 4(1), 21-29.
- Kul, R. H., 2010. Uydu Kentlerin Tasarımı için Bir Karar Destek Sistemi ve Bilişim Sistemi Modeli Önerisi. Akademik Bilişim Kongresi, Muğla, Türkiye.
- Liu, P., Cheng, S., Zhang, Y., 2019. An Extended Multi-Criteria Group Decision-Making Promethee Method Based On Probability Multi-Valued Neutrosophic Sets. *International Journal of Fuzzy Systems*, 21(2), 388-406.
- Masud, A. S., Ravindran, A. R., 2008. Multiple Criteria Decision Making. CRC Press, An imprint of the Taylor and Francis Group.
- Nuuter, T., Lill, I., 2014. From Public Rental to Home Ownership-Is it a Success Story?. 5th International Conference on Development, Energy, Environment, Economics, Florence, Italy.
- Özgür, E. M., 2013. İkametgâh Memnuniyeti Bağlamında Konut Yeri Seçimi ve İkametgâh Hareketliliği: Bolu Kenti Örneği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 11(2), 149-168.
- Özkaraca, O., Acar, E., Peker, M., Türk, E., 2018. A Fuzzy Logic Based Clinical Decision Support System for Emergency Services. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 375-382.
- Power, D. J., 2002. Decision Support Systems: Concepts And Resources For Managers. Quorum Books Greenwood Publishing Group, 252s. London.
- Rafi, S., Yu, W., Akbar, M. A., Alsanad, A., Gumaei, A., 2020. Multicriteria Based Decision Making of DevOps Data Quality Assessment Challenges Using Fuzzy TOPSIS. *IEEE Access*, 8, 46958-46980.
- Sarıçalı, G., Kundakci, N., 2019. Bütünleşik Kemira-M Ve Copras Yöntemi İle Mermer İşletmesi İçin Katrak Makinesi Seçimi 1. Kafkas University. Faculty of Economics and Administrative Sciences. *Journal*, 10(20), 1028-1061.
- Şahin, Y., Supçiller, A., 2015. Tedarikçi Seçimi İçin Bir Karar Destek Sistemi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(2), 91-104.
- Şengül, S., 2018. Düzce İl Merkezinde Ailelerin 1999 Depreminden Sonra Konut Satın Alma Davranış Biçimleri ve Bir Uygulama. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi. Çankaya Üniversitesi, Ankara.
- Şenyurt, Ö., Y., 2001. Konut Pazarlamasında Tüketicinin Satın Alma Davranışları ve Bir Uygulama. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Tian, X., Xu, Z., Gu, J., 2019. Group Decision-Making Models For Venture Capitalists: The Promethee With Hesitant Fuzzy Linguistic Information. *Technological and Economic Development of Economy*, 25(5), 743-773.

- Tosun, E. K., Fırat, Z., 2012. Kentsel Mekandaki Değişimler ve Kişilerin Konut Tercihleri: Bursa Örneği. *Business and Economics Research Journal*, 3(1), 173-195.
- Wikipedia, 2019. Weighted Sum Model https://en.wikipedia.org/wiki/Weighted_sum_model Erişim Tarihi: 11.05.2020.
- Yavuz, S., Çemrek, F., 2013. Konjoint Analizi İle Sağlık Çalışanlarının Konut Tercihlerinin Belirlenmesi, *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17(2), 379-396.
- Yayar, R., Deniz, G., 2014. Mersin Kent Merkezinde Konut Piyasası Fiyatlarının Hedonik Tahmini. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(3), 87-100.



USE OF AGILE AND OPEN INNOVATION APPROACHES IN EXECUTING THE PROJECTS: A FIELD STUDY ON PROJECT MANAGERS

Ahmet ÇUBUKCU*

Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Forensic Informatics Engineering, Konya, Turkey

Keywords	Abstract
<i>Agile Innovation, Agility, Open Innovation, Project Management.</i>	Agility and open innovation are two concepts that support each other as well as being approaches that contribute a lot to the project managers. While they seem to be different methodologies, the fact that particularly they are collaborative and knowledge-based approaches and that they aim to attain innovative outputs by looking at the events from similar perspectives bring the open innovation and agility close to each other. This study strived to measure the awareness of the project managers about agile and open innovation approaches in executing the projects. While it was observed in the study results that an awareness about and use of the two approaches started to form, it appeared that the projects in which these two approaches are used differed in a certain extent from each other.

PROJELERİN YÜRÜTÜLMESİNDE ÇEVİK VE AÇIK İNOVASYON YAKLAŞIMLARININ KULLANIMI: PROJE YÖNETİCİLERİ ÜZERİNDE BİR ALAN ARAŞTIRMASI

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Çevik İnovasyon, Çeviklik, Açık İnovasyon, Proje Yönetimi.</i>	Çeviklik ve açık inovasyon birbirlerini destekleyen iki kavram olmakla birlikte proje yöneticilerine de oldukça katkı sunan yaklaşımlardır. Farklı metodolojiler olarak gözükse de başta işbirliğine ve bilgiye dayalı yaklaşımlar olması ve olaylara benzer perspektiflerden bakarak yenilikçi çıktılar elde etmeyi amaçlamaları açık inovasyon ve çevikliği birbirine yaklaştırmaktadır. Bu çalışmada proje yöneticilerinin projeleri yürütürken çevik ve açık inovasyon yaklaşımlarına ilişkin farkındalıkları ölçümlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonuçlarında iki yaklaşıma ilişkin de bir farkındalığın ve kullanımın oluşmaya başladığı gözlemlense de bu iki yaklaşımların kullanıldığı projelerin belirli düzeyde birbirinden farklılaştığı ortaya çıkmıştır.

Alıntı / Cite

Çubukcu, A., (2020). Use of Agile and Open Innovation Approaches in Executing the Projects: A Field Study On Project Managers, Journal of Engineering Sciences and Design, 8(3), 692-702.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Çubukcu, 0000-0003-0899-4356

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	19.03.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	08.06.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	27.06.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Introduction

The relationship between agility and innovation should be started to be examined from the emergence of the agility; because agile approaches in fact date back to very old periods, and tell similar things with the innovation philosophy.

It is possible to carry rise of the agility back to the periods when lean production first emerged (Ghezzi & Cavallo, 2018; PMI, 2017). Lean production has emerged in the production sector after the second world war for the purpose of creating high value-added products considering the customer needs (Ghezzi & Cavallo, 2018; Hines, Holweg, & Rich, 2004; Womack & Jones, 1997). It is possible to ground this approach on five basic principles: 1) produce things that create value for the customer 2) eliminate the uncertainties 3) eliminate the approaches

* İlgili yazar / Corresponding author: acubuk2@gmail.com

disrupting the production flow 4) produce products desired by the customer 5) determine and eliminate the invaluable things (Womack & Jones, 1997).

The developments experienced in the IT technologies with the 1990s have started to shift the direction of the agility to different sectors, particularly to the software. Many agile methods have been developed in this period such as Extreme Programming (XP) (Beck, 1999), Scrum (Schwaber, 1995), Adaptive Software Development (Highsmith, 2000), Crystal (Highsmith & Cockburn, 2001), Dynamic Systems Development Method (Stapleton, 1997), Feature-Driven Development (Coad & Palmer, 1999) and Rational Unified Process (Jacobson, Booch, & Rumbaugh, 1999; Philippe, 2000). In addition, it was appreciated that the Kanban systems, a popular lean approach, could be used in both the production sector and the software sector (Ghezzi & Cavallo, 2018). In 2001, seventeen software engineers among the creators and leading applicers of agile methods came together and published the agile manifesto whereby they set the 12 basic principles and values of agile methods as stated in Table 1 and an alternative to the conventional software development processes (Beck et al., 2001).

Agile and lean approaches have continued developing independently of each other (one in software and the other in production system), and although different voices have risen up, the general view has been that lean and agility cannot be evaluated separately from each other.

As the side dominated by the software developers continued developing different agile approaches, researchers from MIT started to examine the Japanese production systems, especially Toyota production systems in the late 1980s and early 1990s. They systematized the concept "lean" to define the methods of increasing the productivity of the system by eliminating the wastes ("muda") through reducing the irregular workflows ("mura") and the destructive overloading ("muri"). While lean methodologies are not presented as agile frameworks, official lean, and Kanban software development systems emerged in the 2000s (Epping, 2011; Highsmith, 2009; Rigby, Sutherland & Takeuchi, 2016). In the beginning, some people who adopted the agile methodology declined to recognize these approaches as agile methodologies. However, defenders of the agile approach concentrated their focus on customer collaboration, and these approaches and their hybrids started to be accepted mainly as legitimate practices of the agile values and principles (Rigby, Sutherland & Takeuchi, 2016).

While lean and agile approaches were suggested as different methodologies by different people at different times, it was seen over time that they did not have many differences from each other. The innovation concept has also got involved in this similarity over time. For example, Bessant et al. defined organizational agility as the ability of an enterprise to respond to the changes in a fast and flexible way and to react to the resulting difficulties innovatively (Bessant et al., 2001). Sambamurthy et al. defined organizational agility the ability of an enterprise to identify the innovation opportunities and maintain its competitive market structure (Sambamurthy, 2003). Lokuge made a definition of agile innovation. According to Lokuge, agile innovation is, rather than incremental and radical innovations, the classic types of innovation, the fact that the operation among the information technologies pushes the enterprises to make innovation (Lokuge, 2015). Wilson and Doz have defined the agile innovation model as management and organization of the innovation based on knowledge obtained from anywhere. Because the changes are occurring fast now, and in addition, knowledge sources are increasing day by day (Wilson & Doz, 2011). Morris et al. substituted the software word included in the agile manifesto with innovation, and initiating a new trend in the agile innovation concept. they drew attention to the fact that innovation can be achieved with agility and an adaptable structure in today's competition circumstances (Morris et al., 2015).

Many studies are seen related to the fact agility and innovation concepts were used together before, too (Pérez-Bustamante, 1999; Vinodh et al., 2007). Böhmer, Beckmann, and Lindemann have stated that agile methodologies such as Scrum and Kanban could be incorporated into the innovation processes and open innovation structure (Böhmer, Beckmann & Lindemann, 2015).

Setting out from the literature, it appears that agility and innovation concepts have many aspects in common. In addition, despite the many aspects in common, not many studies are encountered on whether innovation activities affect agility or whether agility activities affect innovation, and on the ability to sustain these activities concurrently. Therefore, this study strived to examine how much the approaches of agility, and open innovation, which is accepted as one of the most relevant innovation models nowadays, are known by project managers, and how much the managers resort these approaches in executing their projects. Although agile and open innovation have not been adequately studied in the literature, this study makes a sense of these two concepts and their similarity.

2. Agility and Open Innovation in Project Management

The researchers proceed in their studies usually by addressing the execution and management of the innovation projects and the execution and management of agile projects differently. It would be helpful to examine in the first place in this section how the innovation projects are addressed.

Suggesting the open project management concept, Huff emphasized that openness should be ensured in project management (Huff, 2016). Huff made a definition that is close to the open innovation concept by defining the open project management shortly as obtaining the offers for the solution of the problems from different external innovation sources.

It was suggested in a different study that using flexible project management approaches based on collaboration rather than classic project management approaches is a requirement for project vision (Lippe & Brocke, 2016).

There are also propositions as to that, in the context of innovation, classic project management approaches do not exhibit a good performance in large and complex projects, or, namely in the circumstances where uncertainty prevails in market quests; that at this point, project management should evolve from an operational approach to a creative approach (Ben Mahmoud-Jouini, Midler, & Silberzahn, 2016).

In addition, it is highlighted in another study that project management and innovation management should be addressed together hereafter. It is stated that these two approaches gain an ongoingly growing acceleration and that virtually most of the innovation activities should be carried out within the framework of a project management (Midler, Killen, & Kock, 2016).

In another study, while it is suggested that business processes and innovation will acquire a further agile, global and specialized structure day by day through open community communications, it is stated that innovation and agility should be evaluated in a more integrated structure (Similä, Järvillehto, & Kuvaja, 2008).

Conforto et al. have concentrated on a definition after making 59 definitions about the agility concept. Accordingly, agility is capability of the project team to configure the changes in customer and stakeholder needs as well as market and technology structure so that they are quickly adaptable to the project plans in order to output better products and projects in an innovative and dynamic pattern (Hobbs & Petit, 2017).

While agile approaches require close collaboration between the stakeholders and responding to the changing needs quickly (Recker et al., 2017), open innovation approaches set forth that innovation activities should be carried out by observing the changings needs within the collaboration and listening to all stakeholders (Çubukcu & Gümüş, 2015; Dahlander & Gann, 2010; Enkel, Gassmann, & Chesbrough, 2009; Huizingh, 2011).

Table 1. Principles of Open Innovation and Agile Manifesto

6 Open Innovation Principles (Chesbrough, 2006)	12 Agile Manifesto Principles (Beck et al., 2001)	
Not all of the smart people work for us* so we must find and tap into the knowledge and expertise of bright individuals outside our company	Our highest priority is to satisfy the customer through early and continuous delivery of valuable software.	Working software is the primary measure of progress.
External R&D can create significant value; internal R&D is needed to claim some portion of that value.	Welcome changing requirements, even late in development. Agile processes harness change for the customer's competitive advantage.	Agile processes promote sustainable development. The sponsors, developers, and users should be able to maintain a constant pace indefinitely.
We don't have to originate the research in order to profit from it.	Deliver working software frequently, from a couple of weeks to a couple of months, with a preference to the shorter timescale.	Continuous attention to technical excellence and good design enhances agility.
Building a better business model is better than getting to market first.	Business people and developers must work together daily throughout the project.	Simplicity--the art of maximizing the amount of work not done--is essential.
If we make the best use of internal and external ideas, we will win	Build projects around motivated individuals. Give them the environment and support they need, and trust them to get the job done.	The best architectures, requirements, and designs emerge from self-organizing teams.
We should profit from others' use of our IP, and we should buy others' IP whenever it advances our own business model.	The most efficient and effective method of conveying information to and within a development team is face-to-face conversation.	At regular intervals, the team reflects on how to become more effective, then tunes and adjusts its behavior accordingly.

As one looks at the agility and open innovation concepts from the project management perspective, the rates of similarity in approach and practices further increase. Even agile tools were recommended for innovative project teams (Sheridan, 2009). Agile project management approaches are recommended to enable that the innovation projects full of uncertainties are performed within a certain project plan and control (Chin, 2004; Conforto & Amaral, 2010; Highsmith, 2004). Highsmith states that one of the basic components of the agile project management is sustainable innovation (Highsmith, 2004). Agile principles, such as high level for autonomy, recognizing the role of experimentation and the chance to promote a culture for individual initiatives could be be useful

in open innovation projects and these two concepts share several dynamics and fundamental principles, even though they have not been adequately studied in the literature (Pellizzoni, Trabucchi, & Buganza, 2019).

As seen in Table 1, although agile manifesto was developed on the basis of the software sector, it is evident that the specified basic principles can be used in many sectors. In this respect, when examined Table 1, open innovation and agile approaches put the 'knowledge' and 'human' in the focus. In addition, these approaches aim to obtain sustainable innovative outputs as a result of effective collaborative efforts. In conclusion, while agile approaches cannot be applied successfully in an ecosystem where open innovation approaches are not used, it does not seem too possible also to apply open innovation approaches successfully in an ecosystem where agile approaches are not used.

The fact that complexity and uncertainty levels in today's projects are increasing day by day and the age of information technologies where rapid changes are experienced makes it compulsory to use agile and open innovation approaches. In addition, since it is difficult to think of the agile and open innovation approaches independently of each other, the awareness about these approaches should be high, especially for project managers.

3. Research Model

Project management practices expected to be result with the execution of projects in firms. Therefore, agile approaches used in projects provides the incremental, iterative, and agile project management practices within the firm:

H1: Agile approaches used in projects increase the use of agile/iterative/incremental project management practices.

Open innovation approaches can be applied in many different ways. However, since the common focus of the agile and open innovation approaches is 'knowledge' and 'human', especially 'knowledge acquisition' and 'collaborative innovation' dimensions of open innovation were examined in this study.

It is seen that spread of especially IT based innovations plays a very important role in shaping the business agility (Mathiassen, & Pries-Heje, 2006). In a study conducted in 2005 in Malaysia, it was revealed that there was a positive relationship between the adoption of IT and the quality of the knowledge acquired and the organizational agility (Zain et al., 2005). Therefore, when examining the relationship between agile and open innovation approaches, organizational agility should be implicated in this relationship.

H2: Use of agile approaches increases as organizational agility increases.

H3: Use of collaborative innovation approaches increases as organizational agility increases.

H4: Use of knowledge acquisition approaches increases as organizational agility increases.

Although agile approaches focus essentially on knowledge and human, studies about how the open innovation principles can complement an agile approach are not encountered much. At the same time, the concept of bringing together the open innovation principles may be challenging for an agile project manager; but taking an open innovation route as basis may also provide many additional benefits for an agile environment (Conboy & Morgan, 2010). In addition, it was seen that some difficulties may emerge when project teams apply open innovation and agile approaches together. For example, the openness principle may be compromised due to the reasons such as a perceived competition element or lack of transparency between the operation units. On the other hand, the requirement of minimum documentation may usually decrease effective knowledge transfer (Conboy & Morgan, 2011). Nevertheless, it is also emphasized that the effects of open innovation in development of agile systems should be understood (Conboy & Morgan, 2011).

Despite the different views and the fact that there are not too many studies on this subject, it is seen that agile and innovative approaches are complementary and supportive of each other. In another study, it was stated that agile approaches should be used in the course of new product development, which is an important sub process of the innovation process (Kettunen & Laanti, 2008). It was stated in another study that agile frameworks can be applied within the open innovation ecosystem and in the innovation process, at the product development phase, and it was analyzed that the agile methods included in Figure 1 can be used in various phases of the innovation process (Böhmer, Beckmann & Lindemann, 2015; Morris et al., 2015).

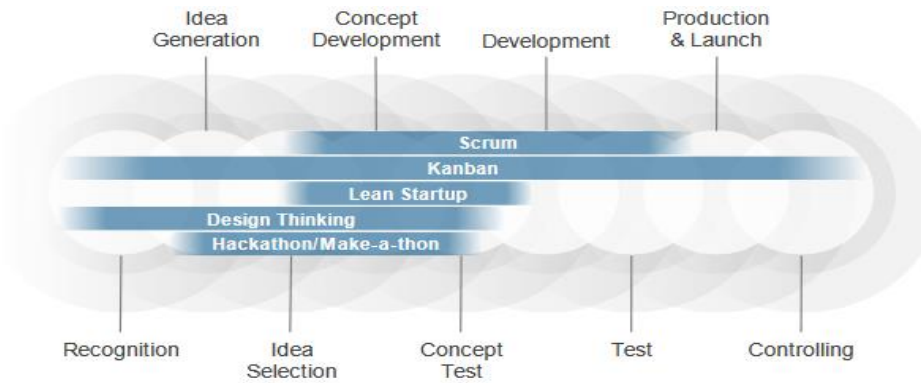


Figure 1. Agile Frameworks within the Generic Innovation Process Model (Böhmer, Beckmann & Lindemann, 2015; Morris et al., 2015)

Again, another study reveals that open innovation methodologies assist agility by enriching and accelerating new product development with the emerging new market opportunities (Teece, Peteraf & Leih, 2016). In this respect, the following hypotheses were added to the study model in order to determine to what extent the project managers use agile and open innovation approaches together in the project activities.

H5: Use of collaborative innovation approaches increases as use of agile approaches increases.

H6: Use of knowledge acquisition approaches increases as use of agile approaches increases.

In this respect, the final state of the research model emerged as seen in Figure 2.

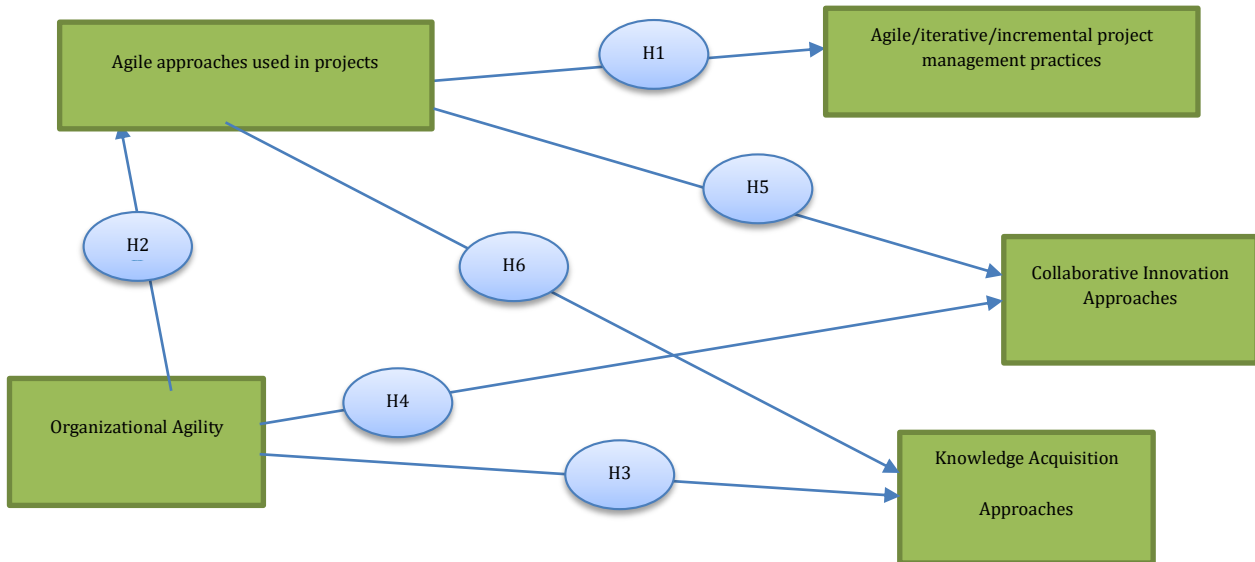


Figure 2. Research Model

4. Research Method

A survey study was developed for use in the research. The recommended directions were followed to develop measurements of our structures and prove their validities (Churchill, 1979). In the phase of development of the survey study, it was tried to determine questions, especially about the agile and open innovation approaches, which establish the main flow of the study, and to make use of the literature. Since open innovation approaches intersect with agile approaches at the 'knowledge' and 'human' focus, mainly the knowledge acquisition and collaborative innovation dimensions of open innovation were examined in the study. In the innovation activities related to collaborative innovation, the project managers were asked whether they collaborate with external suppliers, customers, competitor firms, enterprises other than competitor firms, universities and other research institutions as well as technology development/R&D centers in executing their projects.

The values concerning collaboration and use of knowledge were looked into in a study conducted with regard to measuring the open innovation dimension at the SMEs. When examining the collaboration models in innovation activities of the SMEs, they were examined in two groups - the external firms and market, and the universities and

research centers (Lee et al., 2010). In this study, too, possible innovation collaborations with the stakeholders that can take part in this group were looked into separately.

Another component which is as important as collaboration in open innovation is the knowledge acquisition methods (Chesbrough, 2003; Kang & Kang, 2009). If the enterprises want to increase the innovation performance while substantially needing external knowledge sources, they should balance the use of the internal and external knowledge sources for effective innovation indicators (Berchicci, 2013). Therefore, it is necessary to resort to both external and internal sources in the open innovation activities. In this study, it was examined how much it is resorted to internal and external sources in the R&D activities and training and consultancy activities. Moreover, it was examined to what extent it is resorted to the idea/suggestion systems/software, whereby idea discussions may be made and/or new ideas may be generated regarding the encountered problems. Emergence of the innovations starts with gaining of innovative ideas (Janssen, 2004; Rogers, 2003; Van der Vegt & Janssen, 2003). These innovation sources may be reached by collecting idea solutions from broad masses with broad networks, through R&D centers, collaborations with the places like universities and research institutions, and by means of information technologies (Björk & Magnusson, 2009). At this point, idea/suggestion systems/software are as an important instrument as the internal/external R&D and training and consultancy activities in knowledge acquisition.

The 10th Global Project Management Survey conducted in 2018 by PMI (Project Management Institute) in relation to the questions asked about the agile approaches was utilized (PMI, 2018). The questions asked about the project management methodologies of PMI and the use frequency of agile approaches, and Likert structure, were used in the study. Also, the question "What is the use frequency of waterfall, agile, hybrid and other methodologies in the projects completed at your enterprise within the last one year?" included in that survey was measured again in this study.

The organizational agility contained in the research model was measured in this study based on the question "How did organizational agility of your enterprise change in the last five years" contained in the survey conducted by PMI. The same study was utilized with regard to measuring the complexity and uncertainty of the projects (PMI, 2018).

The pilot data collection phase was performed through the survey conducted before switching to the actual data collection phase. The objective in pilot studies is to determine whether the questions are understood by the participants, and to reveal the scope and clarity of the scale applied based on the literature, and to prove the content validity of the survey. It is seen that the sample size usually starts with a minimum 5-10 in the pilot studies (Reynolds, Diamantopoulos and Schlegelmilch, 1993). In this respect, survey was applied by reaching eight project managers in the pilot study phase. The participants were asked to state suitability of each item used to measure the various structures in the Likert scale. Managers both filled in the survey and presented correction recommendations. It was seen that no revision was required other than minor wording and expression revisions. The pilot analysis provided confidence for application of the survey to the sample group.

The data collection process was carried out face-to-face in the "Professional Development Activities" held monthly by PMI TR (PMI Turkey Chapter) and through the social media platforms of PMI TR. PMI TR provided full support in conducting the survey. Through the professional developed activities held monthly and the online platforms, the survey was applied to the project managers within two months, and 56 project managers were reached within this period. Since 40 project managers filled in the survey completely and suitably, the analyses were conducted on this sample.

Missing data analysis was conducted by reviewing the frequency distributions for determining whether a large amount of data is missing from the survey questions. Since it was determined that the missing data among the total data is less than 5%, it was not required to take any action. An analysis toward determining the differences in the survey questions was considered needless since the amount of missing data was little (Tabachnick & Fidell, 2001).

5. Findings

When examined the study results, it was started to see that the enterprises have begun placing importance to agile and open innovation approaches in executing their projects. Project managers expressed that agile approaches are resorted to frequently and all time at the rate of 25% in the projects completed at their enterprises within the last one year. 27.5% of the agile project management approaches cover agile/iterative/incremental project management practices, 15% cover agile/iterative/incremental program management practice, 12.5% cover

agile/iterative/incremental portfolio management practices and 15% cover specific agile approaches (Scrum, kanban, lean production, etc.).

It was also observed that knowledge acquisition and collaborative innovation approaches are resorted to frequently and at all time at the rate of 45% in average in the projects. However, among the knowledge acquisition approaches, 1) using the knowledge needed, which is produced through internal R&D and other means, and 2) making use of the internal training and consultancy services in relation with the needed knowledge, were seen to be the most used approaches with the rates of 50%. Although open innovation cares about the knowledge produced internally, in fact, openness can be ensured completely through use of external knowledge. Therefore, the rate of 45% should not be too misleading.

In the collaborative innovation approaches, being in constant contact and collaboration with the customers of the project was the part with the highest percentage in this category with 85%. The resulting findings revealed that open innovation approaches are used at least as much as the agile approaches in executing the projects. In conclusion, it was observed in the study that agile and open innovation approaches are used in at least 1 of 4 projects.

6. Empirical Results

First, factor analysis was resorted to for proving validity of the survey and reducing data. In factor analysis, the questions concerning agile approaches and the questions determined about open innovation approaches were subjected to factor analysis separately. No rotation method including Varimax was used in this process. Criteria indicating that only those factors with more than one eigenvalue should be kept in the analysis were used. Whether the data obtained from the study group are suitable for factor analysis may be explained by Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) and Barlett test. In order to use factor analysis for data analysis reliably, it is accepted that KMO value should be minimum 0.50 points and that significance value of Bartlett should be close to zero (Frohlich & Westbrook, 2001). Analysis results satisfied all these requirements without need for data reduction. Moreover, the questions asked within the scope of the hypotheses in regard to application of the project management methodologies and agile approaches explain 78.237% of the total variance, whereas it explains 75.906% in the questions related to application of open innovation approaches. Thus, it was seen that the multiple-choice questions, validity of which was tested, are suitable for the hypothesis tests and that various statistics can be conducted.

Finally, survey results were subjected to reliability analysis to conclude validity and reliability of the study. The value of 0.7 as the lowest value for reliability analysis was stated in previous studies (Cronbach, 1951; Tabachnick & Fidell, 1996). In this study, this value of survey reliability came across us as a very high value like 0.923 without need for removing any item once all survey data were entered in the system. This value emerged as 0.897 in the questions related to application of the project management methodologies and agile approaches, and as 0.772 in the questions related to application of open innovation approaches.

In the subsequent phases, the test processes of the research model seen in Figure 2 has been switched to. Simple linear regression analysis were resorted to at this phase.

H1: Agile approaches used in projects increase the use of agile/iterative/incremental project management practices

According to regression results, use of agile approaches increase the use of agile/iterative/incremental project management practices ($p = 0,000 < 0,05$; $R^2 = 0,675$, as seen in Table 2 and 3).

Table 2. Regression coefficient-R Results for H1

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,821 ^a	,675	,666	,65679

a. Predictors: (Constant), Agile Approaches Used in Projects

Table 3. ANOVA Test Result for H1

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	33,983	1	33,983	78,779	,000 ^b
	Residual	16,392	38	,431		
	Total	50,375	39			

a. Dependent Variable: Agile / Iterative / Incremental Project Management Practices

b. Predictors: (Constant), Agile Approaches Used in Projects

H2: Use of agile approaches increases as organizational agility increases.

According to regression results, organizational agility increases the use of agile approaches ($p = 0,003 < 0,05$; $R^2 = 0,209$).

H3: Use of collaborative innovation approaches increases as organizational agility increases.

Collaborative innovation approaches were examined in this study in 6 dimensions. These are: a) Establishing project/business partnerships with other enterprises. b) Working with external suppliers for software, equipment and hardware to be used in the project. c) Being in constant contact and collaboration with customers of the project. d) Being in contact and collaboration with the competitor firms. e) Being in contact and collaboration with the universities and education/research institutions. f) Being in contact and collaboration with the technology development centers, techno parks or R&D centers.

According to regression results, organizational agility only increases being in constant contact and collaboration with customers of the project in the collaborative innovation environment ($p = 0,023 < 0,05$; $R^2 = 0,130$).

H4: Use of knowledge acquisition approaches increases as organizational agility increases.

Knowledge acquisition approaches were examined in this study in 5 dimensions. These are: a) Using the knowledge needed, which is produced through internal R&D and other means. b) Using the knowledge needed, which is produced through external R&D and other means. c) Obtaining the currently needed knowledge from other enterprises or institutions. d) Using the internal training and consultancy services with regard to the needed knowledge. e) Purchasing the external training and consultancy services with regard to the needed knowledge. f) Using idea/suggestion systems/software, whereby idea discussions may be made or new ideas may be generated regarding the encountered problems, are resorted to.

According to regression results, organizational agility increases using the knowledge needed, which is produced through internal R&D and other means ($p = 0,001 < 0,05$; $R^2 = 0,238$) and external R&D and other means ($p = 0,044 < 0,05$; $R^2 = 0,103$). None of other knowledge acquisition approaches used in open innovation affected by organizational agility.

H5: Use of collaborative innovation approaches increases as use of agile approaches increases.

Using agile approaches increases working with external suppliers for software, equipment and hardware to be used in the project ($p = 0,026 < 0,05$; $R^2 = 0,124$). None of other collaborative innovation approaches used in open innovation affected by agile approaches.

H6: Use of knowledge acquisition approaches increases as use of agile approaches increases.

Using agile approaches increases using the external R&D and other means ($p = 0,041 < 0,05$; $R^2 = 0,105$), increases using the internal training and consultancy services ($p = 0,004 < 0,05$; $R^2 = 0,196$) and increases the using idea/suggestion systems/software to ($p = 0,018 < 0,05$; $R^2 = 0,139$). None of other knowledge acquisition approaches used in open innovation affected by agile approaches.

7. Result and Discussion

Recognition and popularity of agile and open innovation approaches increase day by day. Although they are perceived as different methods, both approaches point out a dynamism indicator against the changing competition structure by putting knowledge and human in the focus. While agile innovation concept is now frequently encountered within the literature of innovation, it became possible to see the innovation activities among the agile approaches.

It was recently started to see in the studies that open innovation and agile approaches support each other and that they are approaches close to each other. It was also seen in the study conducted that agile and open innovation approaches are used in one of every four projects. As both approaches started to become very popular, studies and applications combining these approaches are not encountered much.

Open innovation approaches can be applied in many different ways. However, since the common focus of the agile and open innovation approaches is 'knowledge' and 'human', especially 'knowledge acquisition' and 'collaborative innovation' dimensions of open innovation were examined in this study.

The study shows that there is a moderate relationship between open innovation and agility. Nevertheless, it appeared that the projects in which these two approaches are used differed in a certain extent from each other. For instances, using agile approaches increases working with external suppliers in projects. On the other hand, projects that other collaborative innovation approaches used such as working with business partnerships, customers, universities or R&D centers are differed from projects that agile approaches used.

Agility and open innovation has a closer relationship at the dimension of knowledge acquisition. Using agile approaches increases using the external R&D and other means increases using the internal training and consultancy services and increases the using idea/suggestion systems/software. This means projects that external R&D, internal training programs and idea/suggestion systems are used have a moderate relationship with projects that agile approaches used.

The relationship between the organizational agility, agile and open innovation approaches are also examined in the study. It was seen in the analyses that use of agile approaches increases as the organizational agility increases. The factors causing increase of the organizational agility most were the interest in innovations, the necessity to adapt to the changes and competition in the market, and the change in the customer demands, in order. From another point of view, the interest in innovations increases the tendency toward agile approaches. Nevertheless, there is a moderate relationship between organizational agility and open innovation.

This study has some limitations. The inadequacy of the studies in which open innovation and agility were used together created difficulties in forming the scope of the study. While open innovation and agility support each other as a conceptual framework, use of different approaches in different projects and a moderate relationship in the study results show that outputs and opportunities of the approaches are not fully understand. On the other hand, more specific measurements regarding the approaches could not be carried out precisely due to the lack of sample.

While agility and innovation are factors that trigger each other, one of the most important ways and methods of agility is the open innovation approaches. It is required to resort also to the open innovation approaches in an ecosystem where agile approaches are used or to resort also to the agile approaches in an ecosystem where open innovation approaches are used. Although the study results show that this acquisition has not formed in the project managers, it is considered that this may be eliminated with increase of awareness about both methods. These two approaches often similar to each other. The project managers should be caused to acquire this awareness, as well. It should be evaluated that many more agile approaches presented from the perspective of innovation management such as design thinking and lean startup and the agile approaches presented from the project management perspective such as scrum and kanban can be used in a more integrated manner especially in the new product development process. Future studies can reveal this relational link between them by examining specific agile project management approaches and agile innovation approaches in more depth.

Acknowledgement

I would like to thank PMI TR for the dissemination of field research.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

- Beck, K., 1999. Embracing change with extreme programming. *Computer*, 32(10), 70-77.
Beck et al., 2001. Manifesto for agile software development. Available online: www.agilemanifesto.org. Accessed on 29/06/2019

- Ben Mahmoud-Jouini, S., Midler, C., Silberzahn, P., 2016. Contributions of design thinking to project management in an innovation context. *Project Management Journal*, 47(2), 144–156.
- Berchicci, L., 2013. Towards an open R&D system: Internal R&D investment, external knowledge acquisition and innovative performance. *Research Policy*, 42(1), 117–127.
- Bessant, J., Francis, D., Meredith, S., Kaplinsky, R., Brown, S., 2001. Developing manufacturing agility in SMEs. *International Journal of Technology Management*, 22(1-3), 28–54.
- Björk, J., Magnusson, M., 2009. Where do good innovation ideas come from? Exploring the influence of network connectivity on innovation idea quality. *Journal of Product Innovation Management*, 26(6), 662–670.
- Böhmer, A. I., Beckmann, A., Lindemann, U., 2015. Open innovation ecosystem-makerspaces within an agile innovation process. In *ISPIM Innovation Summit*.1-11.
- Chesbrough, H.W., 2003. *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Boston: Harvard Business School Press.
- Chesbrough, H. W., 2006. The era of open innovation. *Managing Innovation and Change*, 127(3), 34–41.
- Chin, G., 2004. Agile project management: How to succeed in the face of changing project requirements. New York: Amacom.
- Churchill, G., 1979. A paradigm for developing better measures of marketing constructs. *Journal of Marketing Research*, 16(1), 64–73.
- Coad, P., Palmer, S., 1999. Feature-driven development. *Java Modeling in Color with UML*, 182–203.
- Conboy, K., Morgan, L., 2010. Future research in agile systems development: applying open innovation principles within the agile organisation. *Agile software development*. Springer, Berlin, Heidelberg, 223–235.
- Conboy, K., Morgan, L., 2011. Beyond the customer: Opening the agile systems development process. *Information and Software Technology*, 53(5), 535–542.
- Conforto, E. C., Amaral, D. C., 2010. Evaluating an agile method for planning and controlling innovative projects. *Project Management Journal*, 41(2), 73–80.
- Cronbach, L. J., 1951. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334.
- Çubukcu, A., Gümüş, B., 2015. Systematic design of an open innovation tool. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2859–2867.
- Dahlander, L., Gann, D. M., 2010. How open is innovation?. *Research policy*, 39(6), 699–709.
- Epping, T., 2011. *Kanban für die Softwareentwicklung*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Enkel, E., Gassmann, O., Chesbrough, H., 2009. Open r&d and open innovation: exploring the phenomenon. *R&D Management*, 39(4), 311–316.
- Ghezzi, A., Cavallo, A., 2018. Agile business model innovation in digital entrepreneurship: lean startup approaches. *Journal of Business Research*.
- Frohlich, M. T., Westbrook, R., 2001. Arcs of integration: an international study of supply chain strategies. *Journal of Operations Management*, 19(2), 185–200.
- Highsmith, J., 2000. *Adaptive software development: A collaborative approach to managing complex systems*. Dorset House Publishing.
- Highsmith, J., 2004. *Agile project management: Creating innovative products*. Boston: Addison-Wesley.
- Highsmith, J. R., 2009. *Agile project management: Creating innovative products*. Pearson Education.
- Highsmith, J., Cockburn, A., 2001. Agile software development: The business of innovation. *Computer*, 34(9), 120–127.
- Hines, P., Holweg, M., Rich, N., 2004. Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994–1011.
- Hobbs, B., Petit, Y., 2017. Agile approaches on large projects in large organizations. *Project Management Institute*.
- Huizingh, E. K., 2011. Open innovation: state of the art and future perspectives. *Technovation*, 31(1), 2–9.
- Huff, A. S., 2016. Project innovation: evidence-informed, open, effectual, and subjective. *Project Management Journal*, 47(2), 8–25.
- Jacobson, I., Booch, G., Rumbaugh, J., 1999. The unified process. *Ieee Software*, (3), 96–102.
- Janssen, O., 2004. How fairness perceptions make innovative behavior more or less stressful. *Journal of Organizational Behavior*, 25(2), 201–215.
- Kang, K. H., Kang, J., 2009. How do firms source external knowledge for innovation? Analysing effects of different knowledge sourcing methods. *International Journal of Innovation Management*, 13(1), 1–17.
- Kettunen, P., Laanti, M., 2008. Combining agile software projects and large-scale organizational agility. *Software Process: Improvement and Practice*, 13(2), 183–193.
- Lee, S., Park, G., Yoon, B., Park, J., 2010. Open innovation in SMEs—An intermediated network model. *Research Policy*, 39(2), 290–300.
- Lippe, S., Brocke, J., 2016. Situational project management for collaborative research projects. *Project Management Journal*, 47(1), 76–96.
- Lokuge, K. S. P., 2015. *Agile innovation: Innovating with enterprise systems* (Doctoral dissertation, Queensland University of Technology).
- Mathiassen, L., Pries-Heje, J., 2006. Business agility and diffusion of information technology, *European Journal of Information Systems*, 15(2), 116–119.
- Midler, C., Killen, C. P., Kock, A., 2016. Project and innovation management: bridging contemporary trends in theory and practice. *Project Management Journal*, 47(2), 3–7.
- Morris, L., Ma, M., Wu, P. C., 2015. Agile innovation: the revolutionary approach to accelerate success, inspire engagement, and ignite creativity. *International Management Review*, 11(1), 64.
- Pellizzoni, E., Trabucchi, D., Buganza, T., 2019. When agility meets open innovation: two approaches to manage inbound projects. *Creativity and Innovation Management*, 28(4), 464–476.
- Pérez-Bustamante, G., 1999. Knowledge management in agile innovative organisations. *Journal of Knowledge Management*, 3(1), 6–17.

- Philippe, K., 2000. The rational unified process: an introduction. Addison-Wesley, 5, K782.
- Project Management Institute (PMI), 2017. A guide to the project management body of knowledge: (PMBOK guide) (6th ed.).
- Project Management Institute (PMI), 2018. 10th Global Project Management Survey, Success in Disruptive Times, Available online: <https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/learning/thought-leadership/pulse/pulse-of-the-profession-2018.pdf>. Accessed on 22/10/2018
- Recker, J., Holten, R., Hummel, M., Rosenkranz, C., 2017. How Agile Practices Impact Customer Responsiveness and Development Success: A Field Study. *Project Management Journal*, 48(2), 99-121.
- Reynolds, N., Diamantopoulos, A., Schlegelmilch, B., 1993. Pretsting in questionnaire design: A review of the literature and suggestionf for further reserach, *Journal of the Market Research Society*, 35(2), 171-182.
- Rigby, D. K., Sutherland, J., Takeuchi, H., 2016. The secret history of agile innovation. *Harvard Business Review*, 4.
- Rogers, E. M., 2003. Diffusion of innovations. New York: Free Press.
- Sambamurthy, V., Bharadwaj, A., Grover, V., 2003. Shaping agility through digital options: Reconceptualizing the role of information technology in contemporary firms. *MIS Quarterly*, 27(2), 237-263.
- Schwaber, K., 1995. Scrum Development Process. OOPSLA'95 Workshop on Business Object Design and Implementation. Austin, USA.
- Similä, J., Järvillehto, M., Kuvaja, P., 2008. Open innovation and agile development from a process perspective, XIX ISPIM Conference. France.
- Sheridan, R. B., 2009. Agile, innovation, and the project manager. Paper presented at PMI® Global Congress 2009—North America, Orlando, FL. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- Stapleton, J., 1997. DSDM, Dynamic systems development method: The method in practice. Cambridge University Press.
- Tabachnick, B. G., Fidell, L. S., 1996. Multivariate statistics: Using multivariate statistics. New York, NY: HarperCollins College Publishers.
- Tabachnick, B. G., Fidell, L. S., 2001. Using multivariate analysis. Northridge, CA: California State University Northridge & Harper Collins College Publishers.
- Teece, D., Peteraf, M., Leih, S., 2016. Dynamic capabilities and organizational agility: Risk, uncertainty, and strategy in the innovation economy. *California Management Review*, 58(4), 13-35.
- Vinodh, S., Sundararaj, G., Devadasan, S. R., Rajanayagam, D., Muruges, R., 2007. Agile innovative total quality function deployment and its financial accountability in an Indian company. *International Journal of Indian Culture and Business Management*, 1(1-2), 244-263.
- Van der Vegt, G. S., Janssen, O., 2003. Joint impact of interdependence and group diversity on innovation. *Journal of Management*, 29(5), 729-751.
- Wilson, K., Doz, Y. L., 2011. Agile innovation: A footprint balancing distance and immersion. *California Management Review*, 53(2), 6-26.
- Womack, J. P., Jones, D. T., 1997. Lean thinking - Banish waste and create wealth in your corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1148.
- Zain, M., Rose, R. C., Abdullah, I., Masrom, M., 2005. The relationship between information technology acceptance and organizational agility in Malaysia. *Information & Management*, 42(6), 829-839.



ORTA ANADOLU BÖLGESİ ATMOSFER-KABUK ARA YÜZEYİ KABUK YOĞUNLUĞUNUN FRAKTAL BOYUTLAR İLE BELİRLENMESİ

Ezgi ERBEK*, Erdinç ÖKSÜM, M. Nuri DOLMAZ

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Fraktal Yöntem, Bouguer Gravite Anomalisi, Orta Anadolu.</i>	Bu çalışma, Orta Anadolu bölgesine ait Serbest Hava Gravite verisindeki topoğrafik etkileri rejyonel ölçekte en aza indirgeyen atmosfer-kabuk ara yüzeyi kabuk yoğunluğu değerinin belirlenmesini amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda bölgenin yükseklik verileri kullanılarak Serbest Hava Gravite verilerinin çeşitli kabuk yoğunluğu değerleri için topoğrafik etkilerinin indirgemesi yapılmış ve uygulanan her bir yoğunluk değerine ilişkin basit Bouguer Gravite anomalileri elde edilerek bunların Fraktal boyutları hesaplanmıştır. İndirgeme işlemlerinde kullanılan değişken kabuk yoğunluğu değerlerine karşılık elde edilen basit Bouguer Gravite anomalilerinin Fraktal boyutlarının grafiksel analizleri sonucunda Orta Anadolu bölgesi Serbest Hava Gravite verilerindeki topoğrafik etkiyi rejyonel ölçekte minimize eden atmosfer-kabuk ara yüzeyi kabuk yoğunluğu değeri 2.59 gr/cm ³ olarak hesaplanmıştır.

DETERMINATION OF ATMOSPHERE-CRUST INTERFACE CRUSTAL DENSITY OF THE CENTRAL ANATOLIA REGION BY THE FRACTAL DIMENSIONS

Keywords	Abstract
<i>Fractal Method, Bouguer Gravity Anomalies, Central Anatolia.</i>	This study aimed to determine the crustal density value at the atmosphere-crust interface that minimizes the topographic effects in the free air gravity data of the Central Anatolia region on a regional scale. For this purpose, using the elevation data of the region, topographic effects were reduced for various crustal density values of Free Air Gravity data and fractal dimensions were calculated of the simple Bouguer Gravity anomalies obtained for each density value. As a result of the graphical analysis of the fractal dimensions of the simple Bouguer Gravity anomalies obtained in response to the variable crustal density values used in the reduction processes, the crustal density value at the atmosphere-crust interface, which minimizes the topographic effect in the free air gravity data on a regional scale, was calculated as 2.59 gr/cm ³ for the Central Anatolia region.

Alıntı / Cite

Erbek, E., Öksüm, E., Dolmaz, M.N., (2020). Orta Anadolu Bölgesi Atmosfer-Kabuk Ara Yüzeyi Kabuk Yoğunluğunun Fraktal Boyutlar ile Belirlenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 703-711.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Erbek, 0000-0003-4627-8932
E. Öksüm, 0000-0001-8386-9411
M. N. Dolmaz, 0000-0002-9185-9835

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	10.04.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	02.06.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	01.07.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Giriş (Introduction)

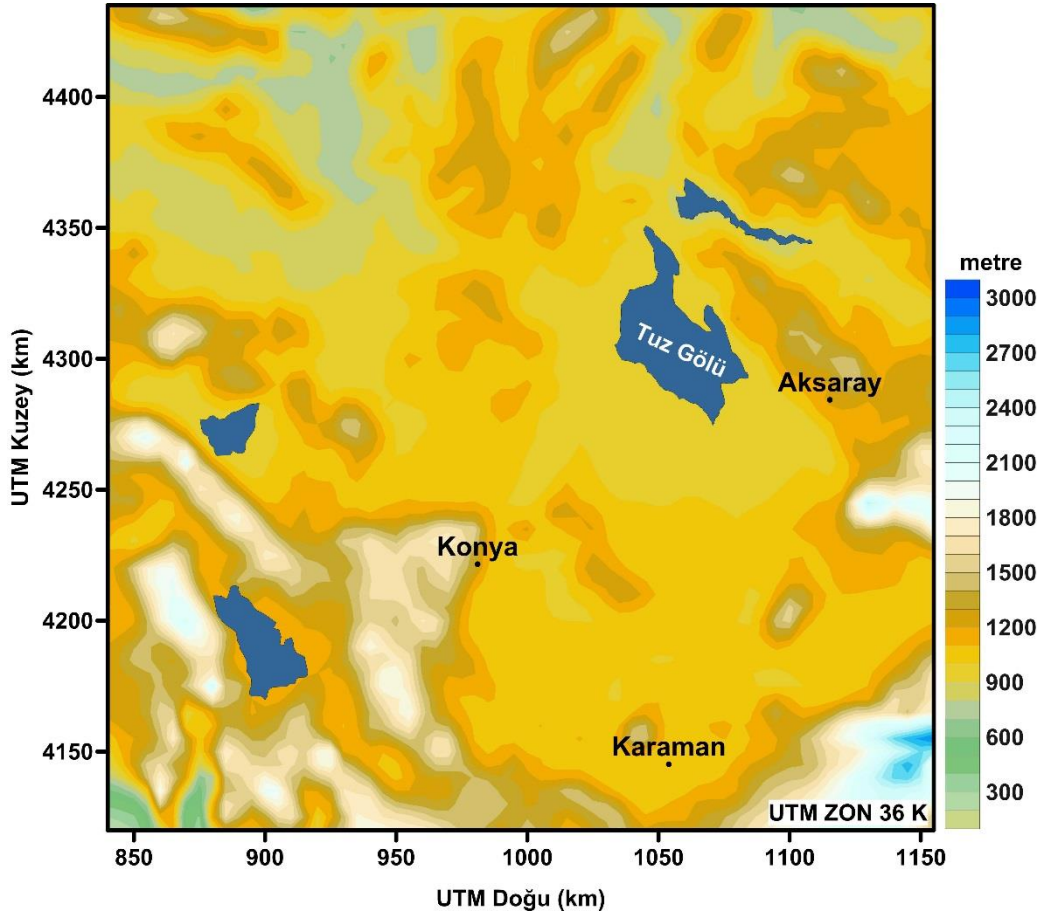
Gravite verileri ve bunlara ilişkin çeşitli jeofizik analiz yöntemleri, belirli bir bölgenin jeolojik ve tektonik haritalarının oluşturulmasında, ekonomik yeraltı kaynaklarının araştırılmasında, çevre ve mühendislik uygulamalarında önemli bilgiler sağlayabilmektedir (Kaftan vd., 2005; Albora vd., 2007; Oruç, 2014; Ekinci ve Yiğitbaş, 2015; Ekinci vd., 2016). Özellikle geniş çalışma alanlarını kapsayan petrol amaçlı çalışmalarda sedimanter havzaların modellenmesi (Öksüm vd., 2019) ve havza içerisinde petrol potansiyeli bulunabilecek

* İlgili yazar / Corresponding author: ezgierbek@sdu.edu.tr, +90-246-211-1368

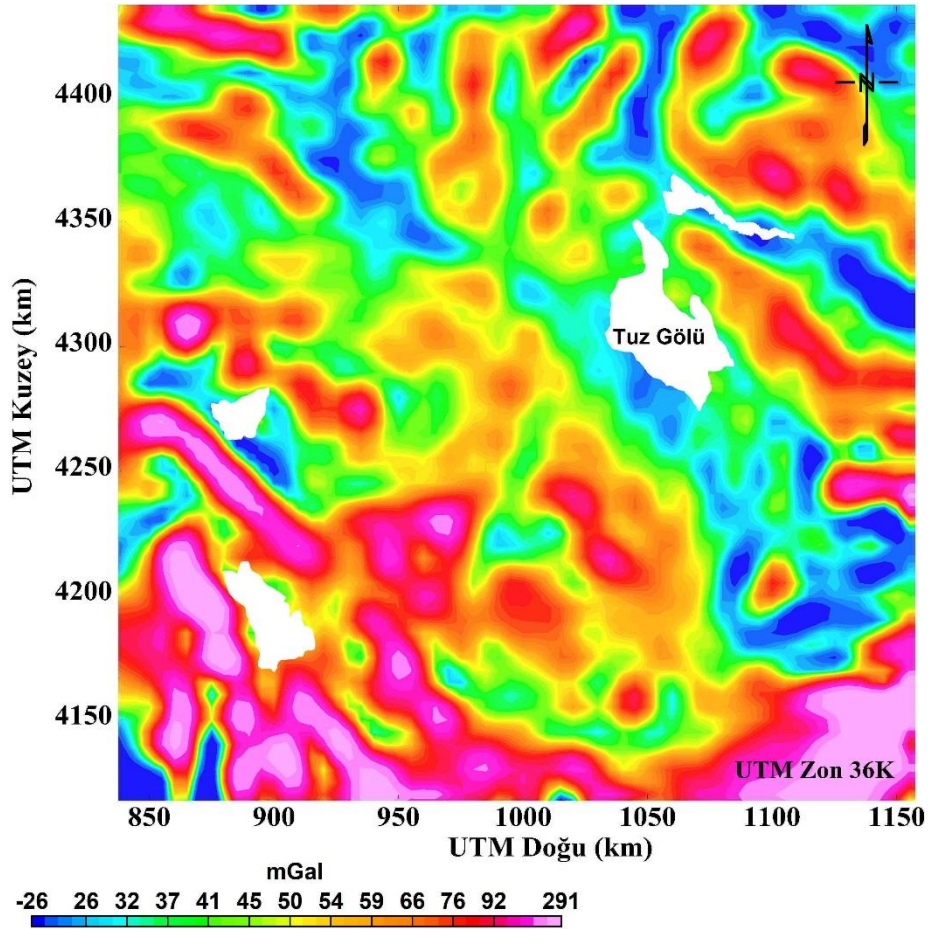
yeraltı jeolojik yapı unsurlarının aydınlatılmasında sıklıkla başvurulan gravite verileri araştırma maliyetlerine kazanım sağlayan önemli bir rol üstlenmektedir.

Ölçülen gravite değerleri, yer altında yoğunluk farkları ilkesine göre jeolojik yapıların yer çekim etkilerinin yanı sıra, dünyanın şekline bağlı gravite etkilerini de içermektedir. Dolayısıyla gravite değişimlerinin analizi öncesinde ölçülen gravite verilerine birtakım indirgeme işlemleri uygulanarak çalışma amacına uygun verilerin elde edilmesi amaçlanır. Yapılan bu düzeltme aşamalarından biri olan Bouguer düzeltmesi, serbest havaya indirgenen gravite verilerine etki eden referans düzlemi üzerindeki kütlelerin yer çekim etkilerinin giderilmesidir. Bu etkilerin giderilmesinde ise referans düzlemi üzerindeki kütlelerin yoğunluk değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Küresel veya bölgesel çalışmalarda bu yoğunluk değeri genellikle 2.67 gr/cm^3 olarak varsayılır (ör., LaFehr, 1991; Hinze vd., 2005). Yerel çalışmalarda ise düzeltme yoğunluğu verilen alandaki gerçek bir topoğrafik kaya yoğunluğunu temsil etmelidir.

Bu çalışmada yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda Fraktal yöntem kullanılarak Orta Anadolu bölgesi serbest hava gravite verilerindeki topoğrafik etkileri bölgesel ölçekte en aza indirgeyen Bouguer yoğunluk değerinin tahmini yapılmıştır. Şekil 1 çalışma alanını kapsayan Orta Anadolu bölgesinin $2' \times 2'$ çözünürlüğündeki topoğrafik haritasını ve Şekil 2 Bureau Gravimétrique International'ın (BGI) web sitesinden (<http://bgi.omp.obs-mip.fr/data169/products/Grids-and-models/wgm2012>) elde edilen $2' \times 2'$ çözünürlüğündeki Serbest Hava Gravite anomali verilerinin haritasını göstermektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının topoğrafyasını ve konumunu gösterir harita (Map showing the topography and location of the study area)



Şekil 2. Çalışma alanına ait Serbest Hava Gravite anomali haritası ([http://bgi.omp.obs-mip.fr/data169 products/Grids-and-models/wgm2012](http://bgi.omp.obs-mip.fr/data169/products/Grids-and-models/wgm2012)) (Free Air Gravity anomaly map of the study area)

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Serbest Hava Gravite anomali haritalarındaki topoğrafik etkileri en aza indirmek için bölgeyi temsil eden optimum Bouguer düzeltme yoğunluğunun tahmini için doğrudan laboratuvar ortamı yoğunluk ölçümleri dışında pek çok sayısal ve istatistiksel yöntem önerilmiştir. Nettleton (1942) Bouguer düzeltme yoğunluğunun tahmini için doğrudan yüzey gravite ölçümlerinden yararlanarak Bouguer Gravite anomalisi ve yükseklik korelasyonu temeline dayanan bir profil yöntemi önermişlerdir. Fakat bu yöntem, izostatik etkiler gibi büyük dalga boylu etkileri ihmal etmesi nedeniyle daha çok kabuk yoğunluğunun yanal varyasyonlar ile desteklendiği varsayılan küçük ölçekli bölgeler için önerilir (Tontini vd., 2007). Diğer yandan yöntemin Bouguer yoğunluk tahmininde başarısı için bazı saha kriterlerinin sağlanması gerekir (Torge, 1989; Yamamoto, 1999). Kuyu içi gravimetrik ölçümler yerinde kaya yoğunluklarının tahmininde kullanılan diğer uygulamalardır (örn. Hammer, 1950; Gibb ve Thomas, 1980; LaFehr, 1983). Sissons (1981), yüzey ve yüzey altı gravite ölçümlerini kullanarak yerinde yoğunluk tahmini için en küçük kareler esasına dayanan bir ters çözüm yöntemi sunmuştur. Bununla birlikte, yer altı gravite ölçümleriyle ilişkili bu yöntemler yalnızca homojen kaya birimlerinin olduğu oldukça sınırlı alanlar için geçerlidir. Daha sonraları sadece yüzey gravite verilerinin kullanımı ile yoğunluk tespiti için Bouguer Gravite anomalisi, Serbest Hava Gravite anomalisi, ölçü yükseklikleri ve indirgeme yoğunlukları arasındaki korelasyonları esasına dayanan farklı istatistiksel yöntemler de geliştirilmiştir (örn., Parasnis, 1952; Rikitake vd., 1965; Fukao vd., 1981; Murata, 1993). Diğer yandan, çok büyük ölçekli çalışma alanları için tek bir Bouguer yoğunluğu değeri yerine çalışma alanını alt pencerelere bölerek her bir alt bölgenin Bouguer yoğunluğunun ayrı olarak bulunmasına yönelik yöntemler de sunulmuştur (örn. Rimbert vd., 1987; Moribayashi, 1990). Yakın geçmişte, Thorarinnsson ve Magnusson (1990), Serbest Hava Gravite Anomalilerindeki topoğrafik etkileri minimize eden Bouguer yoğunluğu değerinin tahmini için gravite anomalilerinin Fraktal boyutları analizinden yararlanan bir yöntem önermişlerdir. Daha sonrasında araştırmacıların sunduğu bu yöntemi Chapin (1996) geliştirerek kıtasal ölçekte Güney Amerika gravite verilerine uygulamışlardır. Ülkemizde, Hisarlı ve Orbay (2001) ise, Batı Anadolu bölgesi için Fraktal yöntemini kullanarak bölgenin atmosfer - kabuk ara yüzeyi yoğunluk değerini 2.58 gr/cm^3 olarak belirlemişlerdir. Oksum ve Hisarlı (2011) yine Fraktal yöntem ile Doğu Anadolu bölgesi Bouguer yoğunluk değerini 2.43 gr/cm^3 olarak hesaplamışlardır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Jeolojik Özellikler (Geological Settings)

Çalışma alanını kapsayan Orta Anadolu bölgesi kuzeyde Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğuda Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), batıda Ege Graben Sistemi ve güneyde Toroslar ile çevrelenmiştir. Alp-Himalaya dağ kuşağı üzerinde yer alan Anadolu yoğun bir deformasyona maruz kalmaktadır. Çalışma alanının güneyinde yer alan Toroslar ile Orta Anadolu birbirinden Geç Kretase – Paleosen yaşlı yüksek basınca maruz kalmış metamorfik birimler ile ayrılmaktadır (Okay vd., 1998; Candan vd., 2005; Lefebvre vd., 2011).

Orta Anadolu’da kristalin ve plütonik birimlerden oluşan Kırşehir Masifi, Sakarya Masifi ve Akdağ Masifi bölgenin temelini oluşturmaktadır. Ayrıca, yüzlekler veren Senozoyik yaşlı volkanlar da yaygın olarak görülmektedir. Pliyosen yaşlı volkanizma ise özellikle Konya ve Karaman civarında yüzlekler vermiştir. Karaman’ın kuzey kesiminde kalkalkalen andezitik-bazaltik, andezitik ve dasitik bir volkanizma görülmektedir. Hasan Dağı ve Melendiz Dağlarının olduğu bölgede ki volkanizma ise Orta Miyosende başlamış Hasan Dağı’nın kuvaterner yaşlı bazaltik lavlarıyla sonlamıştır (Pasquare, 1966; Ercan, 1986).

3.2. Fraktal Yöntem (Fractal Method)

Doğadaki birçok nesne, klasik geometrinin basit şekilleri ile temsil edilememektedir. Örneğin bir dağ yapısı her ne kadar genel hatları ile bir konik şekil ile ifade edilebilse de, her yönündeki yüzeylerinin girintiler ve çıkıntılar içermesi onu basit bir geometrik şekilden oldukça farklı kılmaktadır (Matt, 1977). Bununla birlikte, doğadaki bir çok nesne, matematiksel olarak bir öz-benzerliği ifade eden fraktal ölçüleriyle ifade edilebilmektedir. Burada öz-benzerlik, nesnenin küçük bir bölümünün çoğu kez tüm nesnenin küçük bir kopyası gibi görünmesi anlamına gelir. Pek çok jeolojik olay, fraktal bir özellik sergiler (örneğin kıyı çizgisi, topoğrafya, lav akıntıları). Fraktal olaylar skala bağımsız fiziksel olgular olup yapılan ölçümlerin fiziksel olguya karşı çizimlerinden elde edilir. Eğer fiziksel bir olgu fraktal ise, çeşitli skalalar için elde edilen çizim doğrusal bir segment oluşturur ve bunun eğiminden hesaplanan fraktal boyut, D , veri ve sistemin karmaşıklığının bir ölçüsü olan fraktal özelliğini verir.

Serbest Hava Gravite anomali verileri, yeraltındaki jeolojik yapıların etkisi beraberinde topoğrafik kütlelerin etkisini de içermektedir. Burada topoğrafik etkinin hesaplanmasında yükseklik parametresi fraktal bir olgu ve skala bağımsız bir bileşen, buna karşın kütle yoğunluğu skala bağımlı bir bileşendir (Mark ve Aronson, 1984; Turcotte, 1992). Bu fiziksel olgudan hareket ile gravite verisi içerisinde topoğrafik etkiyi indirgemek için fraktal özellikten yararlanarak topoğrafik etkiye neden olan Bouguer düzeltme yoğunluğu sayısal olarak hesaplanabilmektedir.

Bu çalışmada, Orta Anadolu bölgesi Serbest Hava Gravite verisindeki topoğrafik etkiyi en aza indirgeyen Bouguer düzeltme yoğunluğunun belirlenmesi için (Chapin, 1996) tarafından uygulanan Fraktal yöntemi kullanılmıştır. Buna göre, bir veri sisteminin fraktal boyutu D , güç spektrumu yöntemi ile (Barton vd., 1991) aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$D = (9 + \beta)/2 \quad (1)$$

Burada β , verinin log-log ölçeğinde radyal ortalama güç spektrumunun doğrusal dağılım gösteren segmentine geçirilen bir doğrunun eğimidir.

Chapin (1996), önerdiği yöntemde, ilk olarak Serbest Hava Gravite verilerini sistematik olarak artan farklı yoğunluk değerleri için Bouguer düzeltmesini yaparak her bir düzeltme yoğunluğu değerine ilişkin bir Basit Bouguer anomalisi (BBA)

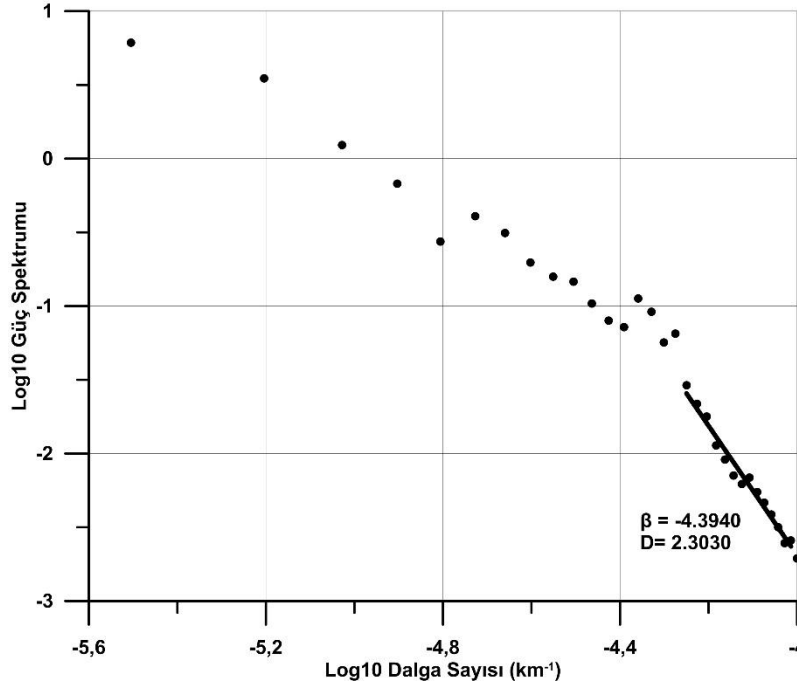
$$BBA = SHA - 2\pi G\rho h \quad (2)$$

elde etmektedir. Burada SHA Serbest Hava Gravite verisini, G evrensel gravitasyon sabitini, h yükseklik değerini ve ρ Bouguer düzeltme yoğunluğunu simgelemektedir. Daha sonra farklı ρ değerleri kullanılarak elde edilen her bir BBA için verinin radyal güç spektrumu alınır ve bunların kısa dalga boylarında doğrusal dağılım gösteren segmentlerine bir doğru geçirilerek doğruların eğim değerleri (β) Eşitlik (1)’de kullanılır ve anomalilerin Fraktal boyutları (D) hesaplanarak bir ρ - D grafiği oluşturulur. Eşitlik (2)’de $2\pi G\rho$ terimi, serbest hava anomalisinin skala bağımlı bileşeni, h yükseklik terimi ise anomalinin skala bağımsız fraktal bileşeni olmaktadır. Kullanılan düzeltme yoğunluğu ρ değeri arttıkça, BBA anomalisinde skala bağımlı bileşen baskın olmakta, buna karşın fraktal özellik azalmaktadır. Dolayısıyla elde edilen ρ - D grafiği artan yoğunluk değerlerine karşılık azalan fraktal boyutlar ile

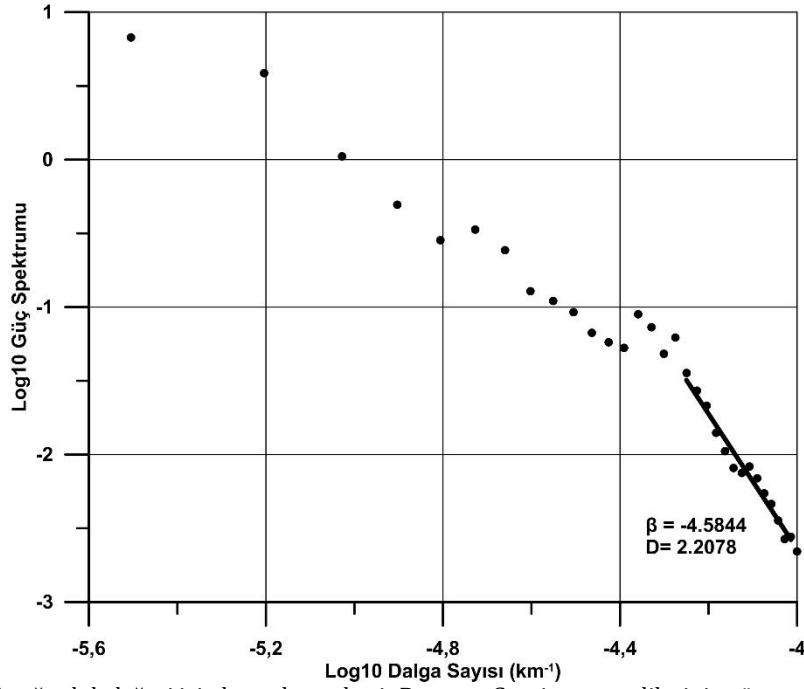
karakterizedir. Chapin (1996), Serbest Hava anomalisinin fraktal özelliğini veya diğer bir değiş ile topoğrafik etkiyi minimize eden en uygun Bouguer düzeltme yoğunluğunun belirlenmesinde ölçüt olarak, ρ - D grafiğindeki D eğrisi ile buna geçirilen lineer bir doğrunun denkleminde elde edilen değerleri arasındaki farkların kullanılmasını önermiştir. Buna göre bir U şekli oluşturan rezidüel fraktal boyutlar eğrisinin minimum değerine karşılık gelen yoğunluk değeri, SHA verisindeki topoğrafik etkiyi minimize eden yoğunluk değeri olarak tanımlanmaktadır.

4. Bulgular (Results)

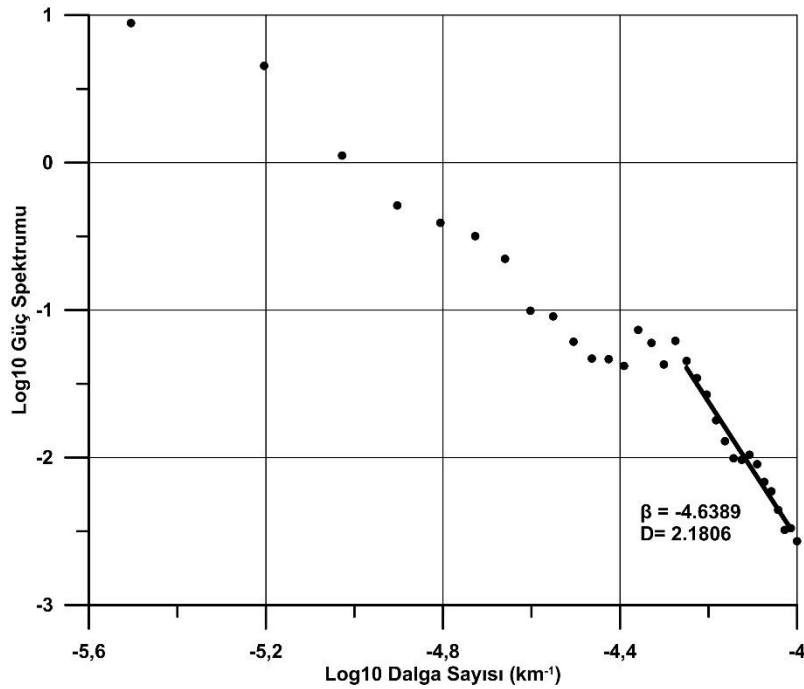
Çalışmada bölgenin Serbest Hava Gravite verileri ve topoğrafya verileri kullanılarak 2.2-3.0 gr/cm³ aralığında ve 0.01gr/cm³ artım miktarı ile değişen Bouguer yoğunluk değerleri için bölgenin Serbest Hava Gravite anomali verileri Eşitlik (2) ile Bouguer düzeltmesi yapılarak her bir yoğunluk değerine ilişkin 81 farklı basit Bouguer Gravite anomalileri elde edilmiştir. Daha sonra her bir basit Bouguer Gravite anomalisinin radyal ortalama güç spektrumları hesaplanarak kısa dalga boylarında doğrusal dağılım görülen segmentlerine geçirilen doğruların eğimleri (β) Eşitlik (1)'de kullanılarak anomalilerin fraktal boyutları hesaplanmıştır. Şekil 3a-c, sırasıyla 2.2 gr/cm³, 2.6 gr/cm³ ve 3.0 gr/cm³ düzeltme yoğunluk değerleri için hesaplanan basit Bouguer Gravite anomalilerinin radyal ortalama güç spektrumlarını ve bunların doğrusal segmentlerine geçirilen doğruların eğim değerlerini ve bunlardan hesaplanan fraktal boyut değerlerini örnek olarak göstermektedir. Örneğin Şekil 3a'da, 2.2 gr/cm³ Bouguer düzeltme yoğunluğu için elde edilen basit Bouguer anomalisinin radyal güç spektrumu değerlerinin doğrusal segmentine geçirilen doğrunun eğimi $\beta = -4.3940$ değeri Eşitlik (1)'de kullanılarak verinin fraktal boyutu $D=2.3030$ olarak hesaplanmıştır. Tüm Bouguer düzeltme yoğunluklarına ilişkin basit Bouguer anomalilerinden elde edilen fraktal boyutların kullanılan yoğunluk değerlerine karşın grafiği Şekil 4'de gösterilmiştir.



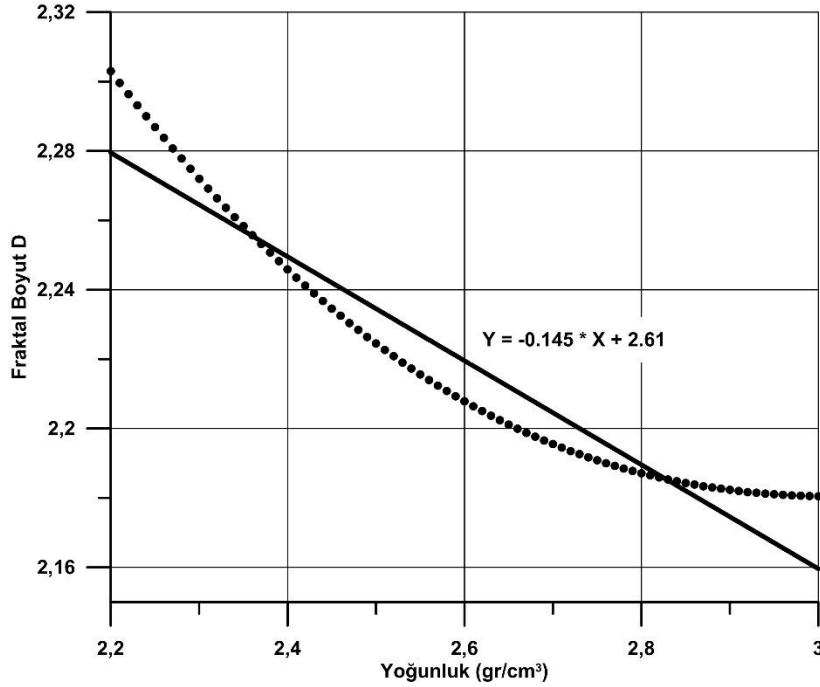
Şekil 3.a) 2.2 gr/cm³ yoğunluk değeri için hesaplanan basit Bouguer Gravite anomalilerinin güç spektrumu ve elde edilen fraktal boyutu (Power spectrum of simple Bouguer Gravity anomalies calculated for the density value of 2.2 gr/cm³ and its fractal dimension obtained)



Şekil 3.b) 2.6 gr/cm³ yoğunluk değeri için hesaplanan basit Bouguer Gravite anomalilerinin güç spektrumu ve elde edilen fraktal boyutu (Power spectrum of simple Bouguer Gravity anomalies calculated for the density value of 2.6 gr/cm³ and its fractal dimension obtained)

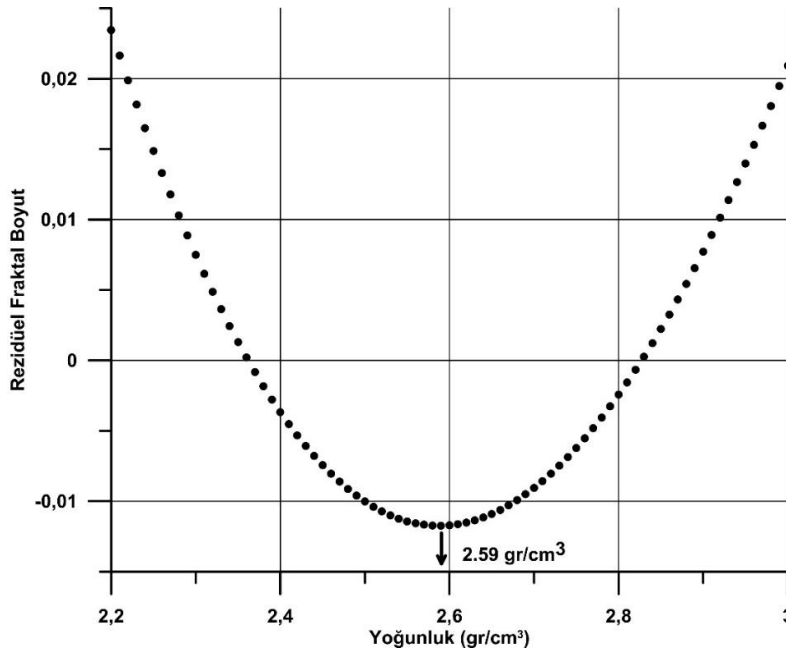


Şekil 3.c) 3.0 gr/cm³ yoğunluk değeri için hesaplanan basit Bouguer Gravite anomalilerinin güç spektrumu ve elde edilen fraktal boyutu (Power spectrum of simple Bouguer Gravity anomalies calculated for the density value of 3.0 gr/cm³ and its fractal dimension obtained)



Şekil 4. 2.2 - 3.0 gr/cm³ aralığında farklı Bouguer düzeltme yoğunluklarına karşı Bouguer Gravite anomalilerinden hesaplanan fraktal boyutlar eğrisi ve buna uydurulan doğrunun denklemi (Fractal dimensions curve calculated from Bouguer Gravity anomalies against different Bouguer correction densities in the range of 2.2 - 3.0 gr / cm³ and the linear curve fitting equation)

Daha sonra Şekil 4' de artan yoğunluk ve azalan fraktal boyut (D) ilişkisine (siyah noktalı eğri) en küçük kareler yöntemi ile bir doğru geçirilerek kullanılan yoğunluk değerleri için doğrunun sayısal denklem değerleri ($Y = -0.145X + 2.61$) hesaplanmıştır. 2.2 - 3.0 gr/cm³ aralığı için basit Bouguer anomalilerinden hesaplanan fraktal boyutlar ile doğru denkleminden elde edilen fraktal boyutlar arasındaki farkların grafiği (rezidüel fraktal boyutlar) Şekil 5'de gösterilmiştir. Buna göre, değişen Bouguer düzeltme yoğunlukları için elde edilen rezidüel fraktal boyutların en küçük değerine karşılık gelen yoğunluk değeri, bölgenin topoğrafik etkilerini minimize eden Bouguer yoğunluk değerini vermektedir. Bu çalışmada Orta Anadolu bölgesini kapsayan çalışma alanı için topoğrafik etkiyi minimize eden Bouguer yoğunluk değeri fraktal boyutlar yöntemi ile 2.59 gr/cm³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Rezidüel fraktal boyutların yoğunluk değişimine karşı çizimi (Plotting of residual fractal dimension versus density variation)

5. Sonuçlar ve Tartışma (Conclusions and Discussion)

Bouguer Gravite anomalileri elde edilirken Serbest Hava Gravite anomalilerinin Bouguer düzeltmesi işlemi, bölgeyi temsil eden en uygun atmosfer-kabuk ara yüzeyi kabuk yoğunluğu değerinin kullanılmasıyla daha etkin olmaktadır. Bu çalışmada Orta Anadolu bölgesine ait serbest hava gravite anomali verisindeki topoğrafik etkileri rejyonel ölçekte en aza indirgeyen atmosfer-kabuk ara yüzeyi kabuk yoğunluğu değerinin Fraktal yöntem ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışma alanının yükseklik değerleri kullanılarak Serbest Hava Gravite anomali verilerinin çeşitli kabuk yoğunluğu değerleri için topoğrafik etkilerinin indirgemesi yapılmış ve uygulanan her bir yoğunluk değerine ilişkin basit Bouguer Gravite anomalileri elde edilerek bunların Fraktal boyutları hesaplanmıştır. Elde edilen basit Bouguer Gravite anomalilerinin fraktal boyutlarının grafiksel analizleri sonucunda Orta Anadolu bölgesi Serbest Hava Gravite anomali verilerindeki topoğrafik etkiyi rejyonel ölçekte minimize edecek olan kabuk yoğunluğu değeri 2.59 gr/cm^3 olarak elde edilmiştir.

Ateş vd., (1999) tüm Türkiye için Bouguer Gravite anomali haritasını daha önce MTA tarafından hazırlanan haritalarda kullanılan 2.67 gr/cm^3 yoğunluk değeri yerine, 2.4 gr/cm^3 yoğunluk değerini kabul ederek ve kullanarak hazırlamışlardır. Araştırmacılar sundukları haritada topoğrafik etkinin tamamen giderildiğini vurgulamışlardır. Fraktal yöntem ile atmosfer - kabuk ara yüzeyi yoğunluk değerini belirlemeye yönelik önceki çalışmalarda Batı Anadolu bölgesi için 2.58 gr/cm^3 (Hisarlı ve Orbay, 2001), Doğu Anadolu bölgesi için 2.43 gr/cm^3 (Öksüm ve Hisarlı, 2011) Bouguer yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada Orta Anadolu bölgesi için elde edilen Bouguer yoğunluk değeri Batı Anadolu bölgesi için elde edilen değer ile uyumludur.

Teşekkür (Acknowledgement)

Yazarlar, Sorumlu Editör ve makalenin incelenmesi neticesinde geliştirilmesine yönelik değerli görüşlerini belirten hakemlere teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Albora, A. M., Ucan, O. N., Aydoğan, A. 2007. Tectonic Modeling of Konya-Beyşehir Region (Turkey) Using Cellular Neural Networks, *Annals of Geophysics*, 50, 5, 603-614.
- Ateş A., Kearey, P., Tufan S. 1999. New gravity and magnetic anomaly maps of Turkey. *Geophys. J. Int.*, 136, 499-502.
- Barton, C. C., LaPointe, P.R., Malinverno, A. 1991, Short course, notes: fractal geometry and its application to the petroleum industry. *Am. Assoc. Petr. Geol. Ann. Mtg.*
- Candan, O., Cetinkaplan, M., Oberhansli, R., Rimmel, G., Akal, C. 2005. Alpine highpressure low-temperature metamorphism of the Afyon zone and implications for the metamorphic evolution of western Anatolia, Turkey. *Lithos*, 84 (1-2), 102-124.
- Chapin, D.A. 1996. A Deterministic Approach Toward Isostatic Gravity Residuals - A Case Study from South America. *Geophysics*, 61(4), 1022-1033.
- Ekinci, Y.L., Yiğitbaş, E. 2015. Interpretation of gravity anomalies to delineate some structural features of Biga and Gelibolu peninsulas, and their surroundings (north-west Turkey). *Geodinamica Acta*, 27 (4), 300-319.
- Ekinci, Y.L., Balkaya, Ç., Göktürkler, G., Turan, S. 2016. Model parameter estimations from residual gravity anomalies due to simple-shaped sources using Differential Evolution Algorithm. *Journal of Applied Geophysics*, 129, 133-147.
- Ercan, T. 1986. Orta Anadolu'daki Senozoyik Volkanizması. *MTA Dergisi*, 107, 119-140.
- Fukao, Y., Yamamoto, A., Nozaki, K. 1981. A method of density determination for gravity correction. *J. Phys. Earth*, 29, 163-166.
- Gibb, R.A., Thomas, M.D. 1980. Density determinations of basic volcanic rocks of the Yellowknife supergroup by gravity measurements in mine shafts-Yellowknife, Northwest Territories. *Geophysics*, 45(1), 18-31.
- Hammer, S. 1950. Density determinations by underground gravity measurements. *Geophysics*, 15, 637-652.
- Hinze W. J., Aiken C., Brozena J., Coakley B., Dater D., Flanagan G., Forsberg R., Hildebrand T., Keller G. R., Kellogg J., Kucks R., Li X., Mainville A., Morin R., Pilkington M., Plouff D., Ravat D., Roman D., Urrutia-Fucugauchi J., Veronneau M., Webring M., Winster D. 2005. New standards for reducing gravity data: The North American gravity database. *Geophysics*, 70, J25-J32.
- Hisarlı, M., Orbay, N. 2001. Determination of Crustal Density at The Atmosphere-Crust Interface of Western Anatolia by Using The Fractal Method. *Journal of The Balkan Geophysical Society*, 5(1), 3-8.
- Kaftan, İ., Şalk, M., Sarı, C. 2005. Application of the finite element method to gravity data case study: Western Turkey. *Journal of Geodynamics*, 39, 431-443.
- LaFehr, T.R. 1983. Rock densities from borehole gravity surveys. *Geophysics*, 48, 341-356.
- LaFehr, T.R. 1991. Standardization in gravity reduction. *Geophysics*, 56, 1170-1178.
- Lefebvre, C., Barnhoorn, A., Van Hinsbergen, D.J.J., Kaymakci, N., Vissers, R. L.M. 2011. Late Cretaceous Extensional Denudation Along a Marble Detachment Fault Zone in the Kirşehir Massif Near Kaman, central Turkey. *Journal of Structural Geology*, 33, 1220-1236.

- Mark, D. M., Aronson, P. B. 1984. Scale-dependent fractal dimensions of topographic surfaces: An empirical investigation, with applications in geomorphology and computer mapping, *Math. Geol.*, 16, 671-683.
- Matt, B. 1977. Fractal Pattern in Nature: <http://www.stanford.edu/~mattb/fracpapr.htm>
- Moribayashi, S. 1990. A new method for variable density correction of gravity data. *BUTSURI-TANSA (Geophys. Explor.)*, 43, 97-106 (in Japanese with English abstract).
- Murata, Y. 1993. Estimation of optimum average surficial density from gravity data: An objective Bayesian approach. *J. Geophys. Res.*, 98, 12097-12109.
- Nettleton, L.L. 1942. Gravity and Magnetic Calculations. *Geophysics*, 7, 293-310.
- Okay, A.I., Harris, N.B.W., Kelley, S.P. 1998. Exhumation of blueschists along a Tethyan suture in northwest Turkey. *Tectonophysics*, 285 (3-4), 275-299.
- Oksum, E., Hisarlı Z.M. 2011. Estimation of the average crustal density and its contrast to the mantle in the Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Abstracts* 13, 355s EGU General Assembly 2011.
- Oksum, E., Dolmaz, M.N., Pham, L.T. 2019. Inverting gravity anomalies over the Burdur sedimentary basin, SWTurkey. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 54, 445-460.
- Oruç, B. 2014. Structural interpretation of southern part of western Anatolian using analytic signal of the second order gravity gradients and discrete wavelet transform analysis. *Journal of Applied Geophysics*, 103, 82-98.
- Pasquare, G. 1966. Outlines of the Neogene and Quaternary Volcanism of Asia Minor: *Accad. Naz. dei Linc.*, 40, 1077-1085.
- Parasnis, D.S. 1952. A study of rock density in the English Midlands. *Mon. Not. R. Astron.Soc. Geophys. Suppl.*, 6, 252-271.
- Rikitake, T., Tajima, H., Izutuya, S., Hagiwara, Y., Kawada, K., Sasai, Y. 1965. Gravimetric and geomagnetic studies of Onikobe area. *Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo Univ.*, 43, 241-267.
- Rimbert, F., Erling, J.C., Lakshmanan, J. 1987. Variable density Bouguer processing of gravity data from Hérault, *First Break*, 5(1), 9-13.
- Sissons, B.A. 1981. Densities determined from surface and subsurface gravity measurements. *Geophysics*, 46(11), 1568-1571.
- Thorarinsson, F., Magnusson, S.G., 1990. Bouguer density determination by fractal analysis. *Geophysics*, 55(7), 806-948.
- Tontini, F.C., Graziano, F., Cocchi, L., Carmisciano, C., Stefanelli, P. 2007. Determining the optimal Bouguer density for a gravity data set: implications for the isostatic setting of the Mediterranean Sea. *Geophys. J. Int.*, 169, 380-388.
- Torge, W. 1989. *Gravimetry*, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 465s.
- Turcotte, D.L. 1992. *Fractal and Chaos in Geology and Geophysics*, Cambridge University Press.
- Yamamoto, A. 1999. Estimating the Optimum Reduction Density for Gravity Anomaly: A Theoretical Overview. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII. Geophysics*, 11(3), 577-599.



A VERIFICATION ANALYSIS FOR PILES IN LIQUEFIABLE SOIL

Pınar Sezin ÖZTÜRK KARDOĞAN*, Nihat Sinan IŞIK

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Keywords

*Liquefiable Soil,
Pile Foundation,
FLAC 2D,
Finite Difference Method.*

Abstract

The soil loses its strength and behaves like a liquid when increasing the pore water pressure under dynamic loads in saturated sandy soils. The large soil displacements can occur on liquefied soil. Pile foundations are applied to bearing capacity problems soil which may be subjected to large lateral displacements due to liquefaction. Although there are many theoretical and practical studies on the behavior of laterally loaded piles in liquefiable soils, there is still no definitive method. The pile damages which are occurred by lateral spreading resulting from liquefaction under dynamic loads have been investigated by many scientists and studies on the causes of damages have increased. Pile response in liquefiable soils and the evaluation of its possible damage are generally assessed by using some available numerical method, for example, the finite difference (FDM), finite element (FEM), and boundary element (BEM) methods. In this paper, the FDM method is used to study the pile behavior in liquefiable soils and its reliability is checked by comparison with centrifuge test results from the literature. It, in which the effect of liquefaction-induced lateral spreading on the pile was evaluated, are also studied. Finally, the analysis results with FLAC 2D are compared with those observed in a centrifuge experiment.

SIVILAŞABİLİR ZEMİNLERDE KAZIK DAVRANIŞINA AİT DOĞRULAMA ANALİZİ

Anahtar Kelimeler

*Sıvılaştan Zemin,
Kazık Temel,
FLAC 2D,
Sonlu Farklar Metodu.*

Öz

Suya doygun kumlu zeminlerde dinamik yükler altında boşluk suyu basıncının artması sonucunda zemin mukavemetini kaybeder ve sıvı gibi davranır. Bunun sonucunda sıvılaştan zeminlerde büyük zemin yerdeğİştirmeleri meydana gelebilir. Taşıma gücü problemleri olan zeminler için kullanılan kazık temeller sıvılaştırma olayından dolayı büyük yanall yerdeğİştirmelere maruz kalabilirler. Yatay yüklü kazıkların dinamik yükler altındaki davranışını üzerinde yapılmış birçok nümerik ve deneysel çalışmalar olmasına rağmen, sıvılaştan zeminlerdeki kazık davranışlarını kesin yargılarla belirlemek çok mümkün değildir. Dinamik yükler altında meydana gelen sıvılaştırma ve sıvılaştırma sonucunda oluşan yanall yayılmanın kazıklarda meydana getirdiğı hasarlar birçok bilim adamı tarafından araştırılmış ve oluşan hasarların sebepleri üzerinde yapılan çalışmalar artmıştır. Sıvılaştan zeminlerde kazık davranışı belirlemek için kullanılan bazı sayısal yöntemler mevcuttur, örneğİn; sonlu farklar metodu (FDM), sonlu elemanlar metodu (FEM), sınır eleman metodu (BEM). Bu çalışmada, sıvılaştan zemindeki yanall yüklü kazık davranışının analiz sonuçları ile literatürden alınan santrifüj deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Sayısal analizler FLAC2D sonlu farklar programı kullanılarak yapılmış elde edilen sonuçlar santrifüj deney sonucu ile kontrol edilmiştir.

Alıntı / Cite

Öztürk Kardoğın, P.S., Işık, N.S., (2020). A Verification Analysis for Piles in Liquefiable Soil, Journal of Engineering Sciences and Design, 8(3), 712-719.

* İlgili yazar / Corresponding author: sezinozturk@gazi.edu.tr, +90- 0-312-2028897

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
P.S. Öztürk Kardoğan, 0000-0002-5212-4318, N.S. Işık, 0000-0002-5104-9504	Başvuru Tarihi / Submission Date	10.04.2020
	Revizyon Tarihi / Revision Date	24.08.2020
	Kabul Tarihi / Accepted Date	01.09.2020
	Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Introduction

Soil liquefaction is a phenomenon that can lead to severe structural damages and geotechnical problems. Earthquakes, which occur frequently in Turkey and all over the world, have caused the occurrence of liquefaction several times in the past, thus leading scientists and engineers to find proper solutions able to mitigate the effects of such phenomenon in urban and industrial areas.

Recent and past studies have suggested that liquefaction may occur on saturated cohesionless soils during earthquakes. Liquefaction is a phenomenon that occurs in saturated cohesionless soils losing their strength and behaving like a liquid because of the increased pore water pressure.

Pile behavior in liquefiable soils has become a special geotechnical research field in the recent past and it is still an important topic nowadays. Past and present studies have shown pile foundation damages after liquefaction and their consequences on the built environment. Tokimatsu and Asaka (1998) carried out a study about the damages that occurred on piles (especially at the depth in which the interface between liquefiable and nonliquefiable soil layers was located) and about the pile deflection (and failure) modes after the 1995 Hyogoken-Nambu earthquake. Cubrinovski et al. (1999) carried out shaking table tests and analytical studies providing new insights about the cyclic stage of the soil-structure interaction and showing damages that occurred on piles.

Pile design under earthquake loading in liquefiable soils is a very important task that involves several issues to be solved (Finn and Fujita, 2002). As an example, the increased pore-water pressure due to the earthquake shaking should be properly accounted. The latter issue was considered in the work of Liyanapathirana and Poulos (2002) which developed a simplified effective stress-based numerical model to study pile response during soil liquefaction. In the past, some researchers, while studying the behavior of pile foundation in liquefiable or weak soils by using the code FLAC 3D, have ignored inertial loads and vertical loads from the superstructure. Thus, it was assumed that the single pile and the pile group were only subjected to kinematic loading induced by ground movements and by lateral spreading in case of sloping ground (Martin and Chen, 2005). Several works have shown and demonstrated that pile group effects (i.e. shadowing effect, edge effect, and block/row failure), which are relevant in case of static lateral loads after liquefaction lose their importance (Rollins et al., 2005). Thus, it is generally possible to simplify the pile group problem studying the single pile case.

The finite difference code FLAC 3D was used to study the effects of the 1995 Hyogo ken Nambu earthquake on a pile-supported wharf and to perform some parametric analyses (Takahashi and Takemura, 2005). In some shaking tables, tests were carried out on a steel-pile and a pre-stressed high-strength concrete pile in liquefiable soil (Cubrinovski et al., 2006). In the latter work, it was found that a relatively flexible pile follows the ground movements while a stiff pile does not follow entirely the soil movements and its response is also affected by the development of higher lateral resistance compared to the flexible pile case. Madabhushi et al. (2010) collected data and reports about damages that occurred on piles. Additionally, the case study of the Landing bridge (which was damaged by lateral spreading) was investigated and the plastic capacities of the bridge's piers and piles were examined in detail (Berril et al., 2001). Bhattacharya et al. (2014) stated that the Showa Bridge, which was damaged during the Niigata earthquake in 1964, suffered from liquefaction damage. Also, Yoshida et al. (2007), also stated that the lateral spreading occurred after the damage of the piers of the Showa bridge, which was damaged in the Niigata earthquake in 1964.

To better reproduce the behavior of pile foundations in liquefiable soils, many researchers have compared the results of centrifuge experiments with numerical analyses. Haldar and Babu (2010) compared the results of FLAC 2D analyses with those inferred in the centrifuge tests performed by Wilson et al. (2000) and they found that their numerical results were close to those experimentally observed. Heidary-Torkamani et al. (2014) compared the results of their FLAC 2D numerical model with the results of centrifuge tests carried out at the University of California to understand the pile behavior in pile-supported coastal structures. Moreover, centrifuge experiments and numerical studies permitted to show that pile-soil interactions are affected by the earthquake properties (i.e. number of cycles, magnitude, duration, intensity, peak acceleration and predominant period) and soil conditions (Dobry and Liu, 1994; Liyanapathirana and Poulos, 2003; Ishihara and Cubrinovski, 1998; Boulanger et al., 1998). According to other centrifuge results in the literature, after the liquefaction, lateral spreading may occur and may

affect negatively the single pile and the pile group behavior (Abdoun et al.,2005; Dobry et al., 2003; Brandenburg et al., 2005; Chang et al., 2005).

In this study, the results of a centrifuge test from literature and the analysis results obtained using the finite difference code FLAC 2D have been compared. At the end of the analysis, the reliability of the finite difference code used herein for the analysis of the pile foundation in liquefiable soil is discussed.

2. Finite Differences Method

One of the numerical methods used to understand the behavior of pile foundations in liquefied soils is the finite difference method. In the finite difference method, the differential values of the unknown function are converted to differential equations by applying finite differences to the function values (Mazak, 2016). The finite difference method is the process of dividing the function of the problem into equal intervals and obtaining the result with the solution of this function. The division into equal intervals is the discretization process. The discretization procedure in the finite difference method is caused by the change in the variable of the constant derivatives of the equations that govern the physical problems through a small but finite increase (Tyagi, 2015).

The finite difference code FLAC 2D, used in this study, is a program that models the soil liquefaction phenomenon and pile-soil interaction during liquefaction at the same time. Thanks to advanced constitutive models included in this program, realistic soil behavior in liquefaction conditions can be simulated during the analyses.

In this paper; the Finn-Byrne Liquefaction Model developed by Byrne is used to model the liquefiable soil layer behavior and the Mohr-Coulomb constitutive model is used in non-liquefiable soil layers (FLAC2D; Byrne, 1991). By using the Finn-Byrne Liquefaction Model, the build-up (i.e. generation) of excess pore water pressures is obtained by calculating permanent volumetric strains during dynamic analysis. In this model, the void ratio can be calculated as a function of the volumetric strain and other parameters (FLAC2D; Byrne, 1991).

3. Verification Analysis

3.1. Centrifuge Test and Finite Difference Analysis

In this work, the centrifuge experiments presented by Abdoun and Wang (2003) were numerically analyzed. The model consisted of three soil layers (Figure 1, in prototype scale): a top layer of non-liquefiable slightly cemented sand, an intermediate layer of liquefiable Nevada sand (relative density = 40%) and a bottom layer of non-liquefiable slightly cemented sand having a thickness of 2 m, 6 m, and 2 m, respectively (in prototype scale). In the centrifuge model, the soil was saturated with viscosity-adjusted fluids (Abdoun and Wang, 2003).

The prototype was inclined to the horizontal surface at an angle of 4.8 degrees. Thus, lateral spreading was ensured during the experiment. At the base of the centrifuge box, variable horizontal accelerations in the form of a sine wave with a maximum value of 0,25 g at a frequency of 2 Hz were applied. Figure 1 shows the centrifuge model on the prototype scale.

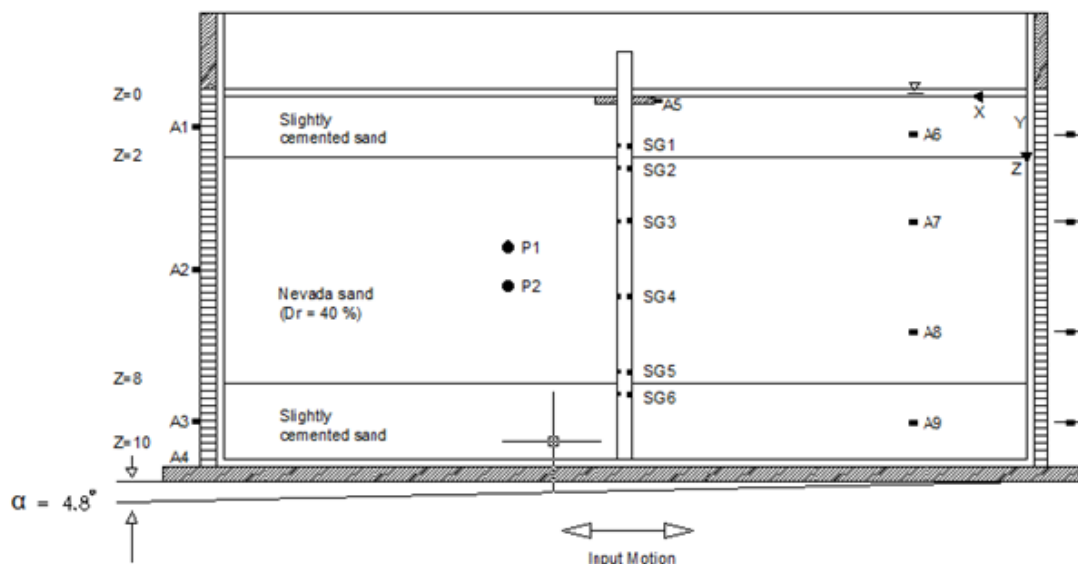


Figure 1. Centrifuge model used for the verification analysis (modified from Abdoun and Wang, 2003) (dimensions in prototype scale)

The pile diameter (D) and flexural rigidity (EI) were 60 cm and 8000 kNm², respectively (in prototype scale). Pile-head was fixed against rotation. The box used in the centrifuge experiments was a laminar box. The box, was constructed with flexible elements to simulate free field conditions, allowed permanent horizontal deformations. Therefore, also the boundaries of the FLAC 2D model were modeled as free-field boundaries during the dynamic analysis (FLAC2D- Fast Lagrangian Analysis of Continua User Guide, 2002). Free-field boundaries simulate the presence of infinite soil conditions. Since the model is two dimensional, plane strain conditions are assumed.

Finite difference analysis consists of four stages. In the first stage, the total stresses due to the soil weight were modeled (i.e. the generation of the initial stresses phase was obtained with the gravity loading procedure (FLAC2D; FLAC2D- Fast Lagrangian Analysis of Continua User Guide, 2002). In the second stage, only the water flow solution was created. The model included the water table depth, thus the hydrostatic water pressures were computed. In the third stage, the solution is provided by making a numerical solution. Thus, it is ensured that the model reaches equilibrium before the dynamic analysis. In the final stage, dynamic analyses were performed using the Finn-Byrne Liquefaction Model for the intermediate liquefiable layer. The elements and the boundary conditions used in the 2D finite difference analysis are shown in Figure 2. The horizontal size of the model was chosen as four times the depth so as not to be affected by the right and left free-field boundaries. In Figure 3, the hydrostatic pore water pressures are presented for fully-saturated soil conditions as a result of the static analysis.

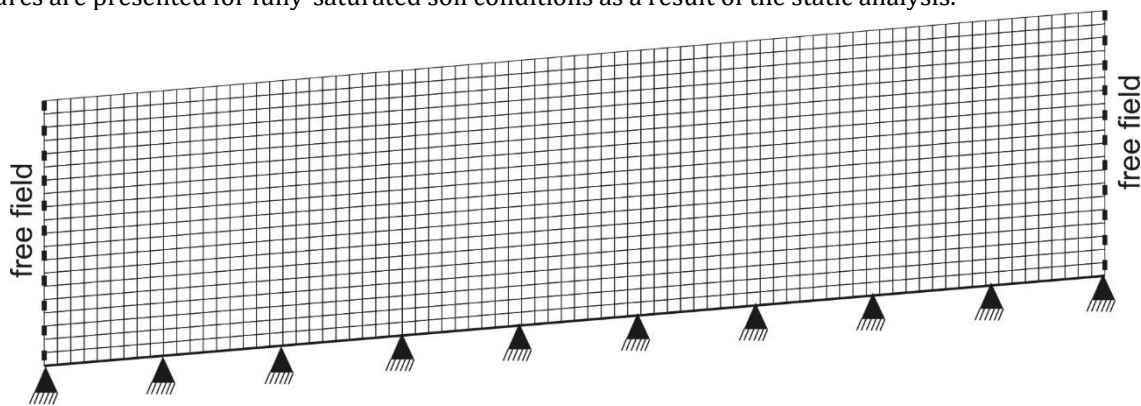
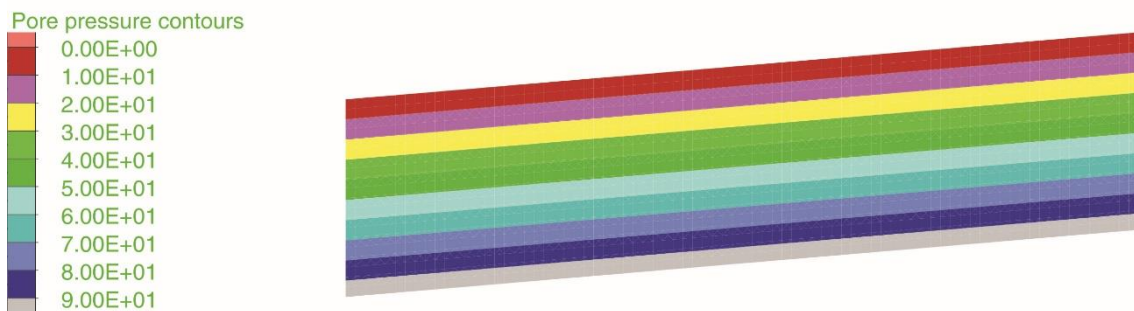


Figure 2. Elements used in finite difference analysis and boundary conditions

LEGEND



Contour interval= 1.00E+01

Figure 3. Pore water pressure distribution as a result of static analysis stages

The Finn-Byrne model requires as input the constants C1 and C2, which relate the increment of volume decrease ($\Delta\varepsilon_{vd}$) and the increase of pore water pressure with cyclic shear-strain amplitude (γ). In this work, the constants C1 and C2 of the liquefiable Nevada sand (relative density, $D_r = 40\%$) were calculated using the Equations 1 and 2 reported in the FLAC manual (FLAC2D- Fast Lagrangian Analysis of Continua User Guide, 2002) and based on the work of Byrne, 1991. Thus, C1 and C2 were calculated as 0.764 and 0.523, respectively. The angle of friction of the Nevada sand at a relative density of 40% was taken as 33 degrees (Arulmoli et al.,1992). Besides, an effective cohesion of 10 kPa was obtained for the slightly cemented sand layers, which were modeled with the Mohr-Coulomb constitutive model. Shear modulus values of Nevada sand and cemented sand are taken as 10 and 12 MPa. Bulk modulus values are calculated using a Poisson's ratio of 0.3. During the dynamic analysis, Rayleigh-type damping was added to the hysteretic damping of the materials to model the soil viscous damping at small-strain levels, to reduce unrealistic amplifications at high frequencies. The viscous damping ratio was set equal to 2 and 5%.

$$C1=7600(D_r)^{-2.5} \tag{1}$$

$$C2 = 0,4/C1 \quad (2)$$

Pile-soil interface parameters that control pile-soil interaction during lateral spreading are taken as reported in FLAC 2D manual (FLAC2D- Fast Lagrangian Analysis of Continua User Guide, 2002) and briefly described in Figure 4. Because the model thickness in the prototype scale is about 10 meters, the pile parameters are scaled for plane deformation analysis.

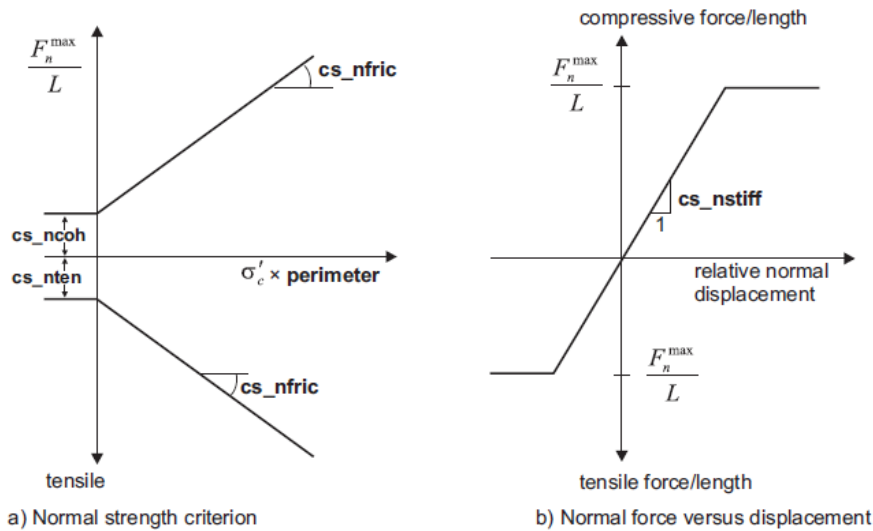


Figure 4. Pile-soil interaction parameters (FLAC2D- Fast Lagrangian Analysis of Continua User Guide, 2002)

Abdoun and Wang (2003) reported that the pore pressure ratio (r_u = total pore pressure over total overburden stress) measured in centrifuge experiments after 5 cycles (2.5 seconds) attained a value equal to 1 (full liquefaction condition) and that this value kept constant up to the end of the loading. Therefore, in the FLAC analysis, the pore water pressure value in the middle of the intermediate liquefiable Nevada sand layer was monitored. Figure 5 shows the pore water pressure ratio vs. time graph for the analysis where a 5% viscous damping ratio at small strain level was used. Examining Figure 5, it can be observed that the pore water pressure ratio reaches its maximum value approximately at 2.5 seconds and keeps constant up to the end of the dynamic analysis. Figure 6 shows the pore water pressure distribution obtained at the end of the dynamic loading around the pile.

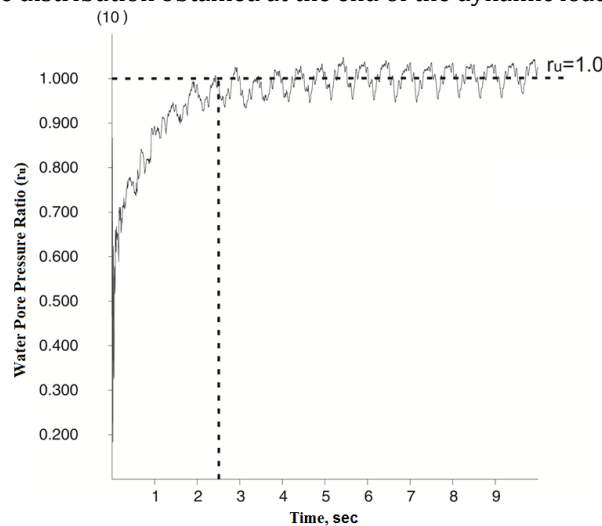


Figure 5. Pore water pressure ratio vs. time graph in the analysis with a 5% viscous damping

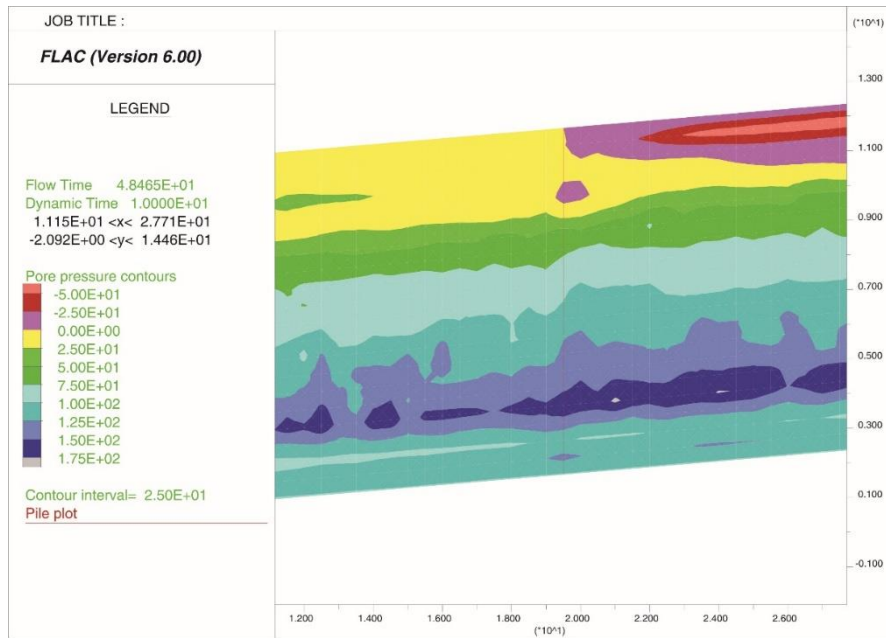


Figure 6. Pore water pressure distribution obtained at the end of the dynamic loading around the pile

Abdoun and Wang (2003) in their centrifuge experiments measured maximum pile bending moments equal to 270 and 305 kNm at the upper and at the lower boundaries of the liquefiable sand layer, respectively. It was measured that the free field ground surface lateral movement and the pile-head deflections were 70 cm and 85 cm, respectively.

FLAC 2D analysis results showed a free field ground surface horizontal displacement of 131 cm and a pile-head lateral movement of 125 cm when using a 2% viscous damping ratio, while a free field ground surface horizontal displacement of 104 cm and a pile-head lateral movement of 100 cm when using a 5% viscous damping ratio. Figure 7 shows the soil horizontal displacement distribution with depth at the end of the simulation. The computed maximum bending moment between the upper and lower boundaries of the liquefiable sand layer was equal to 320 kNm and 260 kNm when the viscous damping ratio was taken as 2% and 5%, respectively. Figure 8 shows the estimated pile displacement vs. depth graph reported in Abdoun and Wang (2003).

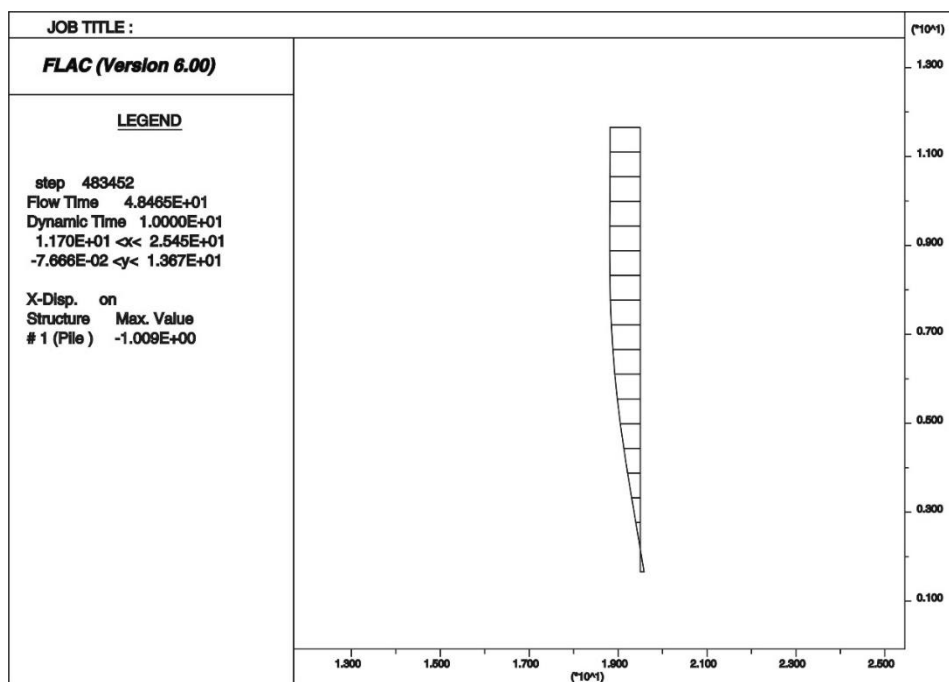


Figure 7. Horizontal displacement distribution at the end of the FLAC simulation

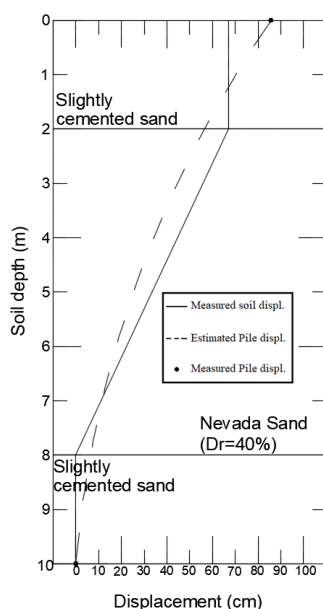


Figure 8. Soil (measured) and Pile (computed) displacement vs. depth reported in modified from Abdoun and Wang (2003)

Pile displacement profile given in figure 8 is the estimation made by Abdoun and Wang (2003) using a beam on the Winkler spring approach. Only soil displacement profile and pile head displacements were measured during the centrifuge test. As can be observed by comparing Figure 7 and Figure 8, the displacement profile obtained with FLAC analysis is consistent in terms of shape with that presented in Abdoun and Wang (2003).

Excess pore-water pressures generated within the liquefiable cohesionless soil, control the shear strength and rigidity. Therefore parameters such as relative density, hydraulic conductivity, the thickness of liquefiable soil, ground slope, presence, and characteristics of non-liquefiable cover soil have very important effects on pile behavior. Increasing soil deformations and loss of soil strength around the pile will result in lower confinement since static vertical loading on the pile is present, even buckling can occur at slender piles. The presence of non-liquefiable soils above liquefiable soil poses an important drag problem. Since they have high rigidity compared to liquefied soil, they can apply very high lateral stresses to piles during lateral flow.

5. Results

The comparison between the measured and computed (FLAC 2D) soil displacement profile reveals a quite good agreement. Especially, the shape of the displacement profile at the non-liquefiable upper layer is well captured by FLAC 2D results.

FLAC 2D analysis has been able to correctly reproduce the increase of pore water pressure and the pile bending moment values observed in centrifuge experiments. Nevertheless, the computed displacements are slightly higher than those measured experimentally. This is probably since the Finn-Byrne model could not model increasing rigidity caused by dilation at high shear strains during liquefaction. In the literature, UBCSAND, PM4Sand, and other advanced constitutive models for liquefiable soils can better model the latter issue. Nevertheless, in this work, the Finn-Byrne model was chosen as it was seen to be able to properly reproduce the most relevant features of liquefiable layers and because of its simplicity in defining the input parameters compared to other advanced models.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Abdoun, T., and Wang, Y., 2003. Performance of retrofitted pile foundations subjected to seismically induced lateral spreading. Pacific Conference on Earthquake Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Abdoun, T., Dobry, R., Zimmie, T.F., and Zeghal, M., 2005. Centrifuge research of countermeasures to protect pile foundations against liquefaction-induced Lateral Spreading. *Journal of Earthquake Engineering*, 9(1), 105-125.
- Arulmoli, K., Muraleetharan, K.K., Hossain, M.M. and Fruth, L.S., 1992. VELACS: Verification of liquefaction analyses by centrifuge studies, laboratory testing program. Soil Data Report, Irvine, California Report-Project, California, 90-0562.

- Berril, J.B., Christensen, S.A., Keenan, R.P., Okada, W., and Pettinga, J.R., 2001. Studies of Lateral Spreading Forces on a Piled Foundation" *Geotechnique* 51(6), 501-517.
- Bhattacharya, S., Tokimatsu, K., Goda, K., Sarkar, R., Shadlou, M., and Rouholamin, M., 2014. Collapse of Showa Bridge during 1964 Niigata earthquake: A quantitative reappraisal on the failure mechanisms. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 65, 55-71.
- Boulanger, R.W., Curras, C.J., Kutter, B.L., Wilson, B.W., and Abghari, A., 1998. Seismic soil-pile-structure interaction experiments and analyses. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 125(9), 750-759.
- Brandenberg, S.J., Boulanger, R.W., Kutter B.L., and Chang, D., 2005. Behavior of pile foundations in laterally spreading ground during centrifuge tests. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131(11), 1378-1391.
- Byrne, P.M., 1991. A Cyclic Shear-Volume Coupling and Pore-Pressure Model for Sand. In *Proceedings 2nd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, Saint. Louis, Missouri, 47-55.
- Chang, D., Boulanger, R.W., Kutter, B.L., and Brandenberg, S.J., 2005. Experimental Observations of Inertial and Lateral Spreading Loads on Pile Groups during Earthquakes. *Geo-Frontiers Congress*, Austin, Texas, United States.
- Cubrinovski, M., Ishihara, K. and Furukawazono, K., 1999. Analysis of Full-Scale Tests on Piles in Deposits Subjected to Liquefaction. 2nd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Lisbon, Portugal.
- Cubrinovski, M., Kokusho, T., and Ishihara, K., 2006. Interpretation from large-scale table tests on piles undergoing lateral spreading in liquefied soils. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 26(2-4), 275-286.
- Dobry, R., and Liu, L., 1994. Centrifuge Modelling of Soil Liquefaction. *Earthquake Engineering 10. World Conference*, Rotterdam, 6801-6809.
- Dobry, R., Abdoun, T., O'Rourke, T. D., and Goh, S.H., 2003. Single piles in lateral spreads: Field bending moment evaluation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129(10), 879-889.
- Finn, W.D.L., and Fujita, N., 2002. Piles in liquefiable soils: seismic analysis and design issues. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(9-12), 731-742.
- FLAC2D- Fast Lagrangian Analysis of Continua User Guide, Dynamic Analysis, 2002.
- FLAC2D, Software program, Version 6, Itasca Consulting.
- Haldar, S., and Babu, G.L.S., 2010. Failure mechanisms of pile foundations in liquefiable soil: parametric study. *International Journal of Geomechanics*, 10(2), 74-84.
- Heidary-Torkamani, H., Bargi, K., Amirabadi, R., and McClough, J.N., 2014. Fragility estimation and sensitivity analysis of an idealized pile-supported wharf with batter piles. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 61-62, 92-106.
- Internet: Tyagi, W., 2015. Numerical methods in geotechnical engineering (2)-finite difference method. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fgeosynthetic.wordpress.com%2F2015%2F10%2F16%2Fnumerical-methods-in-geotechnical-engineering-2-finite-difference-method%2F++&date=2018-02-21>, Last Access Date: 20.09.2017.
- Ishihara, K., and Cubrinovski, M., 1998. Performance of large-diameter piles subjected to lateral spreading of liquefied deposits. 13th Southeast Asian Geotechnical Conference, Taipei.
- Liyanapathirana, D.S., and Poulos, H.G., 2002. A numerical model for dynamic soil liquefaction analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(9-12), 1007-1015.
- Liyanapathirana, D.S., and Poulos, H.G., 2003. A pseudo-static approach for seismic analysis of piles in liquefying soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131(12), 1480-1487.
- Madabhushi, G., Knappett, J., and Haigh S., 2010. *Design of Pile Foundations In Liquefiable Soils* " Imperial College Press.
- Martin, G.R., and Chen, C.Y., 2005. Response of piles due to lateral slope movement. *Computers and Structures*, 83(8-9), 588-598.
- Mazak, E., 2016. Kazık davranışının iki ve üç boyutlu olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli. (In Turkish)
- Rollins, K.M., Gerber, T.M., Lane, J.D., and Ashford, S.A., 2005. Lateral resistance of a full-scale pile group in liquefied sand. *Journal of the Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Division*, 131(1), 115-125.
- Takahashi, A., and Takemura, J., 2005. Liquefaction-induced large displacement of the pile-supported wharf. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25(11), 811-825.
- Tokimatsu, K., and Asaka, Y., 1998. Effects of liquefaction-induced ground displacements on pile performance in the 1995 Hyogoken-Nambu earthquake. *Special Issue of Soil and Foundations*, 38, 163-177.
- Wilson, D.W., Boulanger, R.W., and Kutter, B.L., 2000. Observed seismic lateral resistance of liquefying sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(10), 898-906.
- Yoshida, N., Tazoh, T., Wakamatsu, K., Yasuda, S., Towahata, I., Nakazawa, H., and Kiku, H., 2007. Causes of Showa Bridge collapse in the 1964 Niigata earthquake based on eyewitness testimony. *Soils Foundation*, 47 (6), pp. 1075-1087.



HAYVANSAL VE BİTKİSEL ATIKLAR KAYNAKLI BİYOKÖMÜR ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: MALATYA İLİ ÖRNEĞİ

Nesrin DURSUN*

Ardahan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ardahan, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Biyokömür,
Hayvansal Atık,
Bitkisel Atık,
Atık Gerikazanımı.*

Öz

Araştırmada, Malatya ilinin hayvansal ve bitkisel atıklar kaynaklı biyokömür dönüşüm potansiyeli belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2019, 2018 ve 2017 yılı Hayvancılık İstatistikleri ve Bitkisel Üretim İstatistikleri kullanılmıştır. Biyokömür üretim potansiyelinin belirlenmesinde hayvan (büyükbaş süt sığırları, küçükbaş süt veren koyun+keçi ve hindi+kaz+ördek+yumurta tavuğu kümes hayvanı) sayıları ve bahçe ürünleri (kayısı, elma, ceviz, armut, badem, kiraz, şeftali+nektarin, vişne, erik) ağaç sayıları dikkate alınarak, ilgili kabullere göre atık miktarları saptanmıştır. Diğer hayvansal ve bitkisel üretim atıkları, genel olarak sürdürülebilir olmadığından biyokömür dönüşüm potansiyelinin belirlenmesinde dikkate alınmamıştır. Toplam biyokömür dönüşüm potansiyeli üç yıl için 132319 ton ve yıl bazında ortalama 44106.3 ton olarak belirlenmiştir. 2019, 2018 ve 2017 yılı için; hayvansal atık kaynaklı biyokömür potansiyeli, toplam potansiyelin % 72.4'ünü ve bahçe ürünleri budama atıkları kaynaklı biyokömür potansiyeli ise toplam potansiyelin % 27.6'sını oluşturmuştur. Bu oranlar, yıl bazında da yaklaşık oranlarda seyretmiştir. Ayrıca, hayvansal atık kaynaklarının % 87'sini büyükbaş hayvan atıkları ve bahçe ürünleri budama atık kaynaklarının % 88'ini ise kayısı ağacı budama atıkları oluşturmuştur.

DETERMINATION OF ANIMAL AND VEGETABLE WASTES-BASED BIOCHAR PRODUCTION POTENTIAL: THE CASE OF MALATYA PROVINCE

Keywords

*Biochar,
Animal Waste,
Vegetable Waste,
Waste Recycling.*

Abstract

In the research, animal and vegetable waste-based biochar transformation potential of Malatya province was determined. Within the scope of the study, Livestock Statistics and Plant Production Statistics of the years 2019, 2018 and 2017 from the Turkish Statistical Institute were used. In the determination of the biochar production potential, the number of animals (dairy cattle, milk giving sheep+goat and turkey+goose+duck+laying hen poultry) and the number of horticultural crop trees (apricot, apple, walnut, pear, almond, cherry, peach+nectarine, sour cherry, plum) were considered and waste amounts were detected according to the relevant acceptances. Other animal and vegetable production wastes were not taken into consideration in determining biochar transformation potential since they are not generally sustainable. Total biochar transformation potential was determined as 132319 tons for three years and 44106.3 tons on the average on a yearly basis. For the years 2019, 2018 and 2017; animal waste-based biochar potential created 72.4% of the total potential and horticultural crop pruning waste-based biochar potential created 27.6% of the total potential. These rates ranged between the approximate rates on a yearly basis. Also, 87% of the animal waste sources consisted of bovine animal wastes and 88% of the horticultural crop pruning waste sources consisted of apricot tree pruning wastes.

Alıntı / Cite

Dursun, N., (2020). Hayvansal ve Bitkisel Atıklar Kaynaklı Biyokömür Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Malatya İli Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 720-727.

* İlgili yazar / Corresponding author: nesrindursun@ardahan.edu.tr, +90-478-211-7575

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
N. Dursun, 0000-0002-7463-1038	Başvuru Tarihi / Submission Date	13.04.2020
	Revizyon Tarihi / Revision Date	21.06.2020
	Kabul Tarihi / Accepted Date	07.07.2020
	Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Giriş (Introduction)

Atık, genel olarak meydana getirenin ihtiyacı kalmadığı için attığı veya atması gerektiği maddelerdir. Bu atılan maddelerin geri dönüşüm ve geri kazanımı mümkün olanları ile, hem üretim için yeni ham maddeye daha az ihtiyaç duyulabilir, hem de enerji elde edilebilir. Dünyada birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de, atıkların sürdürülebilir olarak nasıl ele alınabileceğine yönelik, geri dönüşüm, işleme sistemi ve atık azaltma hedefleri belirlenmiştir. Böylece, geri dönüşüm veya geri kazanımı mümkün olan atıklar sayesinde, yenilenebilir enerji kaynakları ayrı bir ivme kazanmıştır. Bu kapsamda, özellikle hayvansal atıklar ve bitkisel atıklar en önemli biyokütle kaynaklarından ikisidir. Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası (BEP) verilerine göre ülkemizin, hayvansal atık miktarının 193 milyon ton/yıl, bitkisel atık miktarının ise 62 milyon ton/yıl yaklaşık değerlerde olduğu tahmin edilmektedir. Hayvansal ürün ya da üretim faaliyetleri ve tarımsal faaliyetler sonucunda çeşitli tipte atıklar oluşarak çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu organik içerikli biyokütle atıkların geri dönüşümü ile biyometan, biyohidrojen, biyodizel, biyokömür gibi yenilenebilir kaynaklar elde edilebilir. Dünyada son zamanlarda üretimi ve kullanımı yaygınlaşan, ülkemizde yeterince tanınmayan biyokömür, sera gazı salımını azaltma ve toprak verimliliğini artırma özellikleriyle araştırmacıların odak noktası haline gelmiştir.

Biyokömür, yavaş piroliz prosesi ile çok az oksijen içeren veya oksijenin olmadığı koşullarda biyokütlenin en az 350 °C sıcaklıkta işlenmesi ile oluşan; sera gazı salımını azaltmak, toprak iyileştirme veya filtrasyonu için kullanılabilen yüksek seviyelerde sabit karbon içeren katı kömüre benzeyen malzemedir (Shackley vd., 2013; Agronomy Fact Sheet, 2010; CEC April, 2019; CEC February, 2019). Biyokömür, karbon esaslı olarak mikrobiyal aktivite veya ortamdaki kimyasal reaksiyon yoluyla zor ayrışabilir, kimyasal olarak ayrışmayan formda depolanan stabilize edilmiş yapıdadır. Bu nedenle karbon, mikroorganizmalar tarafından kullanılmadığından ve atmosfere karbondioksit (CO₂) olarak geri dönmediğinden, biyokömür karbon azaltılmasında önemli derecede etki yapmaktadır (Shackley vd., 2013). Biyokömür, birçok farklı tipte organik atık malzemeden düşük sıcaklıkta piroliz yoluyla üretilebilir. Bu nedenle, kentsel alanlarda ve tarımda organik atıkların yönetimi için yeni bir yol sunmaktadır. Biyokömür üretiminde kanalizasyon çamuru, hayvan gübresi, odun atıkları, tavuk tüyleri, saman, kuruyemiş kabukları ve bahçe atıkları potansiyel hammadde olarak kullanılacak atıklardan bazılarıdır. Ayrıca, organik atığın düşük sıcaklıkta pirolizi ile yenilenebilir biyoyakıt olarak kullanılan biyoyağ ve sentez gazı yan ürünleri üretilebilir (Shackley vd., 2013; Navia ve Crowley, 2010).

Biyokömür üretimi ile ilgili çalışmalarda, piroliz prosesinde çeşitli tipte organik atıklar denenerek farklı sıcaklıklarda üretilen ürünlerin fizikokimyasal özelliklerinin toprağa etkileri araştırılmıştır. Biyokömür teknolojisinin alternatif atık işleme yöntemlerine kıyasla yakın gelecekte karşılaşılabileceği temel zorluk, tam ölçekli birimler için yüksek sermaye maliyetidir. Bu çerçevede, emisyonu azalttığı bilinen biyokömürün farklı tipte organik atıkların değerlendirilmesi ile ucuz elde edilme potansiyeli, piroliz işlemlerinin maliyetini daha uygun hale getirebilir (Navia ve Crowley, 2010). Biyokömürün pH, kütle yoğunluğu, toprak agregasyonu, su tutma kapasitesi, besin kullanılabilirliği ve organik karbon kullanılabilirliği gibi çeşitli toprak özelliklerini değiştirdiği bilinmektedir. Ayrıca, biyokömür partikülleri ve gözenekleri yüzeyinde büyüyen kök, kök tüyleri ve mikorizal iplikcikler onu çevreleyen toprak ortamında çok farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik bir ortama maruz kalabilir (Lehmann vd., 2015). Toprak verimliliği ve bitki büyümesini artırma özelliklerinden dolayı gelecek yıllarda biyokömürün pazar büyümesinin artması öngörülmektedir. Biyokömürün toprağa faydaları; (i) su ve gübre tutma kapasitesini geliştirme, (ii) nem seviyesini koruma, (iii) doğal felaket (sel) olduğunda bitkileri koruma, (iv) topraktaki toksik elementleri ve kum kirleticileri temizleme olarak sıralanabilir. Toprağa kuru uygulanan biyokömür, toprakta suyun tutulmasına yardımcı olarak verimliliği arttırmakta ve toprakta ıslak koşullar olduğunda drenajı destekleyerek, toprak besinlerini tutmaya yardımcı olmaktadır (CEC April, 2019; CEC February, 2019).

Bu araştırmada, araştırmacılar tarafından birçok avantajı olduğu bildirilen, organik atıkların kullanımı ile üretilebilecek biyokömürün Malatya ili için potansiyeli hesaplanmıştır. Bu kapsamda, Malatya ilinde hayvansal ve bitkisel üretim faaliyetleri sonucu elde edilen çeşitli tipte potansiyel atık miktarları saptanmış ve bu atıkların biyokömür dönüşüm potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, Malatya ilinde biyokömür üretimine katkı sağlayacak potansiyel atıklar; hayvansal (büyükbaş, küçükbaş, kümes) ve bitkisel (kayısı, elma, ceviz, armut, badem, kiraz, şeftali+nektarin, vişne, erik) üretim atıkları olarak belirlenmiştir. Böylece, Malatya ilinde oluşan potansiyel atıklara göre biyokömür üretim potansiyeli değerlendirilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması (Literature Survey)

Dünyada, yavaş piroliz yöntemi ile organik atıklardan biyokömür üretimi üzerine araştırmalar artmış ve biyokömür kullanımının birçok avantajı olduğu bildirilmiştir. Hossain vd. (2011), tarafından yapılan çalışmada atıksu çamurundan biyokömür üretimi araştırılmış ve agronomik uygulamalar için gerekli özellikler değerlendirilmiştir. Kentsel bir atık su arıtma tesisinden alınan atık su çamuru, laboratuvar ölçekli bir reaktörde piroliz edilmiştir. Piroliz prosesi ile 300-700 °C sıcaklık aralığında arttırılarak çalışılmış ve biyokömür veriminin azaldığı tespit edilmiştir. Biyokömürün düşük sıcaklıkta üretilenleri asidik, yüksek sıcaklıkta üretilenleri alkali yapıda olarak belirlenmiştir. Ayrıca, mikroblesinler artan sıcaklıkla birlikte artarken, azot konsantrasyonu azalmıştır. Atık su çamurunda bulunan iz elementlerin konsantrasyonunun sıcaklık ile değiştiği ve biyokömürü zenginleştirdiği tespit edilmiştir. Mitchell vd. (2013), kentsel lignoselülozik atık envanterinin tamamlanmasını takiben üç kategoriye ayrılmış olan toplam on sekiz hammaddeyi kullanarak biyokömür elde etmiştir. Bu kategoriler kurumsal atıklar (kağıt havlu, gazete kağıdı, beyaz kağıt, renkli kağıt, parlak kağıt, kahverengi kağıt torba, kahverengi kağıt zarf, oluklu mukavva, karton kutu, karton kağıt rulosu, karton ambalaj), yıkım atıkları (yonga levha, kontrplak, yıkım ahşabı) ve bahçe atıkları (ladın talaşı, akçağaç dalları, akçağaç yaprakları, çimen) olarak belirlenmiştir. Selüloz, hemiselüloz ve ligninin literatürdeki önceki çalışmalara göre, genellikle 200-500 °C arasında termal olarak bozunduğuna dayanarak en yüksek 480 °C sıcaklıkta çalışılmıştır. Biyokömür örneklerinin nötr ila az alkali pH değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak, lignoselülozik kentsel atıklardan üretilen biyokömürün potansiyel olarak faydalı özelliklerde olduğu kanısına varılmıştır. Chaiwong vd. (2012), üç tatlı su yosununu (*Spirulina*, *Spirogyra* ve *Cladophora*) kullanarak biyokömür üretim potansiyelini özel olarak tasarlanmış bir reaktörde, yavaş piroliz prosesi ile 550 °C'de araştırmıştır. Kuru alglerin biyokömür verimlerinin % 28-31 aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Lee vd. (2013), tarımsal atıkları (şeker kamışı küspesi, kokopit, çeltik samanı, hurma çekirdeği kabuğu, şemsiye ağacı) kullanarak, 500 °C'de yavaş piroliz ile üretilen biyokömürün özelliklerini karşılaştırmıştır. Biyokömür verimleri ağaç kökü, şeker kamışı küspesi ve çeltik samanı organik fraksiyonunda ağırlıkça % 24-28, kokopit için ise ağırlıkça % 46 olarak tespit edilmiştir. Atıklardan biyokömür üretimi ile, karbon içeriğinin ağırlıkça % 84-89 aralığında değiştiği, bu oranın biyokütle içindeki karbonun % 43-63'üne karşılık geldiği belirlenmiştir. Gheorghe vd. (2010), kiraz ağacı talaşından biyokömür üretim verimini araştırmıştır. Çalışmada, 450-800 °C sıcaklık aralığında farklı piroliz sıcaklığı ve bekleme süresi işletme koşullarının, biyokömür verimi üzerine etkileri incelenmiştir. Colantoni vd. (2016), pelet haline getirilmiş üzüm asması ve ayçiçek kabuğu tarımsal atıklarından üretilen biyokömürü, piroliz ile 400 ve 500 °C'de bir kesikli reaktörde incelemiştir. Piroliz koşullarında biyokütlenin kimyasal ve fiziksel değişimi belirlenerek, oluşan ürünler karakterize edilmiştir. Deneylere göre, artan sıcaklıkla birlikte katı biyokömür veriminde azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma ile, üzüm asması ve ayçiçek kabuğu gibi tarımsal biyokütle atıkların biyokömür üretiminde alternatif olarak kullanılabilmesi kanısına varılmıştır. Llorach-Massana vd. (2017), lignin (% 19.7) içerikli domates bitkisi kalıntısının biyokömür hammaddesi olarak kullanılabilirliğini, yavaş piroliz koşullarında (350-400 °C) araştırmıştır. Araştırma sonucunda, domates biyokütlesi atık kalıntısını, yakma veya kompostlama yapmadan, toprak iyileştirici malzeme olarak kullanılmasının çevreye faydalı olacağı önerilmiştir.

Zornoza vd. (2016), tarafından hazırlanan başka bir çalışma ile domuz gübresi, mahsul atıkları ve kentsel katı atıklar kullanılarak üretilen biyokömürün; hammadde, piroliz sıcaklığı ve bekleme süresinin stabilitesi, besin içeriği ve su geçirmezlik özellikleri incelenmiştir. Biyokömür tipleri 1 saat, 2 saat, 4 saat ve 5 saat için 300 °C, 400 °C, 500 °C ve 700 °C'de hazırlanmıştır. pH ve su geçirmezlik haricinde, tüm özelliklerin hammaddeden etkilendiği tespit edilmiştir. Sıcaklık artışı, kararlılığı arttırmıştır. Düşük sıcaklıkların daha yüksek katyon değişim kapasitesi ve mevcut besinler ile, daha düşük tuzluluk ve alkalilik sağladığı belirlenmiştir. 300 °C'de üretilen biyokömürler, yüksek hidrofobik özellik göstermiştir. Bu yüksek hidrofobik özellik, kararsız alifatik bileşiklerin kaybı nedeniyle 500 °C'nin üzerinde yok olmuştur. Çalışmada, yüksek pH ve karbonat içeriğinde, 500 °C'den yüksek sıcaklıklarda toprak kireçlenmesi ve toprak metallerinin mevcudiyetinin azaltılmasına uygun biyokömür üretiltiği tespit edilmiştir. Uzoma vd. (2011), inek gübresinden üretilen biyokömürün fiziko-kimyasal özellikleri ve mısır verimi üzerindeki etkisini belirlemek için, kumlu topraklı bir serada deney yapmıştır. Biyokömür, 500 °C'de pirolize edilmiş kuru inek gübresinden elde edilmiştir. Çalışmada, inek gübresi biyokömürünün mısır mahsulü büyümesini önemli ölçüde etkileyen bazı bitki besinleri içerdiği belirlenmiştir. İnek gübresi biyokömürü, hektar başına 0, 10, 15 ve 20 ton biyokömüre eşdeğer oranda kumlu toprak ile karıştırılmıştır. Mısır verimi ve besin alımı, biyokömür karıştırma oranının artmasıyla önemli ölçüde geliştirilmiştir. Biyokömür uygulaması 15 ve 20 ton/hektar karıştırma oranlarında, kontrol ile karşılaştırıldığında mısır tane verimi sırasıyla % 150 ve % 98 oranlarında artmıştır. Mısırın net su kullanım verimliliği 10, 15 ve 20 ton/hektar karıştırma oranlarında, kontrole kıyasla sırasıyla % 6, 139 ve 91 oranında artış göstermiştir. Buna göre inek gübresi biyokömür uygulamasının, kumlu toprağın doymuş hidrolik iletkenliğini geliştirdiği ve mısırın net su kullanım verimliliğini arttırdığı kanısına varılmıştır. Hasattan sonra toprak analizi yapılmış, sonuçlara göre pH, toplam C, toplam N, değiştirilebilir katyonlar ve katyon değişim kapasitesinde önemli bir artış olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, inek

gübresi biyokömürünün kumlu toprağa uygulanmasının sadece ürün büyümesi için yararlı olmadığını, aynı zamanda kumlu toprağın fiziko-kimyasal özelliklerini de önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Araştırmada, Malatya ilinin bitkisel ve hayvansal üretim faaliyetleri incelenerek, biyokömür üretimi için potansiyel atık olarak kullanılabilir atık tipleri belirlenmiştir. Bu atık tipleri belirlenirken; hayvancılık faaliyeti yapılan barınaklarda kısa süreli bulunan/bulunabilecek hayvan grupları, ticari değerde olan (tarla ürünleri şeker pancarı, mısır ve yonca gibi atıkların hayvancılıkta önemli bir yem kaynağı olması) ve sürdürülebilir olmayan (genellikle tek yıllık bitkiler olan) ürünler, değerlendirme dışında tutulmuştur. Bu kapsamda, Malatya ilinde bitkisel ve hayvansal atıklar kaynaklı biyokömür üretim potansiyelini belirlemek için ilin ağaç sayıları ve hayvan sayıları ile ilgili verileri gerekmektedir. Bu verilere Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK, 2020) veri tabanında bulunan Hayvancılık İstatistikleri ve Bitkisel Üretim İstatistikleri sekmelerinden ulaşılmıştır. Hayvan verileri; büyükbaş (süt sığırları), küçükbaş (süt veren koyun+keçi) ve kümes (yumurta tavuğu+kümes hayvanları (hindi+kaz+ördek)) hayvan sayısı datalarından oluşmaktadır. Bitkisel veriler ise; bahçe atıkları (kayısı, elma, ceviz, armut, badem, kiraz, şeftali+nektarin, vişne, erik) ağaç sayısı datalarından oluşmaktadır. Biyokömür üretimi için incelenmiş potansiyel atıkların 2019, 2018 ve 2017 yılı kullanılabilir atık miktarları belirlenmiştir.

Hayvansal atıkların biyokömür potansiyelini belirlemek için, hayvan sayıları ile birlikte hayvan başına günlük yaş gübre miktarının (kg) bilinmesi önem arz etmektedir. Hayvan başına günlük kaç kg yaş gübre elde edildiği ile ilgili literatürde çeşitli kabuller bulunmaktadır. Bu araştırmada, LIFE 03 TCY proje sonuç raporundaki kabullere göre biyokömür potansiyeli hesaplanmıştır. Proje sonuç raporuna göre, hayvan başına yaş gübre miktarı; büyükbaş hayvanda 27.2 kg/gün, küçükbaş hayvanda 2.2 kg/gün ve kümes hayvanında 0.08 kg/gün olarak kabul edilmiştir. Hayvansal kuru gübre oranı; büyükbaş hayvanlarda % 12.7, küçükbaş ve kümes hayvanlarında ise % 25 olarak beyan edilmiştir. Kuru gübre miktarının kullanılabilirlik oranı; büyükbaş hayvanlarda % 65, küçükbaş hayvanlarda % 13 ve kümes hayvanlarında % 99 olarak bildirilmiştir (LIFE 03 TCY). Bitkisel atıkların biyokömür potansiyelini belirlemek için ise, Bilandzija vd. (2012) tarafından rapor edilmiş bahçe ürünleri budama katsayısı; kayısı 5.79, elma 2.34, ceviz 3.43, armut 2.45, badem 5.81, kiraz 5.90, şeftali+nektarin 7.23, vişne 5.37 ve erik 7.34 kg/ağaç.yıl olarak kullanılmıştır. Biyokömürle kullanılabilirlik oranı olarak, Sümer vd. (2016) ve Kaygusuz (2001) tarafından yapılmış çalışmada belirtilmiş oran kullanılmıştır. Kaygusuz (2001) tarafından yapılan çalışmada, toplam tahıl ürünleri ve yağlı tohum bitkileri üretim miktarları belirlenerek, toplam biyokütlenin % 70'inin enerji için kullanılabilir olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle, kullanılabilir oran % 70 olarak kabul edilmiştir. Biyokömür dönüşüm oranı ise, Tablo 1'de verildiği üzere en yüksek dönüşüm % 35 oran ile yavaş pirolizde olduğu için, bu oran kabul edilerek hesaplama yapılmıştır.

Tablo 1. Farklı piroliz koşullarında elde edilen sıvı, katı ve gaz ürünlerin dönüşüm oranları (Winsley, 2007; IEA, 2006)
(Conversion rates of liquid, solid and gas products obtained under different pyrolysis conditions)

Piroliz Yöntemi	Koşullar	Sıvı (Biyo-yağ)	Katı (Biyokömür)	Gaz (Sentez gazı)
Hızlı	1 saniye boyunca orta sıcaklık (500 °C)	% 75	% 12	% 13
Orta hızda	10-20 saniye boyunca orta sıcaklık (500 °C)	% 50	% 20	% 30
Yavaş (karbonizasyon)	uzun bekleme süresi, düşük sıcaklık (400 °C)	% 30	% 35	% 35
Gazifikasyon	buharda uzun bekleme süresi, yüksek sıcaklık (800 °C)	% 5	% 10	% 85

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

Ülkemizde, atıklardan sürdürülebilir olarak nasıl fayda sağlanabileceğine yönelik geri dönüşüm, işleme sistemi ve atık azaltma hedefleri belirlenmiştir. Bu hedeflerin hem ekonomik avantajları hem de yürürlükte olan Çevre Kanunu'na uyulması avantajı bulunmaktadır. 2872 numaralı Çevre Kanunu'nun Çevre Korunmasına İlişkin Önlemler ve Yasaklar Bölümü, Kirletme Yasağı maddesinde "Her türlü atık ve artığı, çevreye zarar verecek şekilde, ilgili yönetmeliklerde belirlenen standartlara ve yöntemlere aykırı olarak doğrudan ve dolaylı biçimde alıcı ortama vermek, depolamak, taşımak, uzaklaştırmak ve benzeri faaliyetlerde bulunmak yasaktır. Kirletme ihtimalinin bulunduğu durumlarda ilgililer kirletmeyi önlemekle; kirletmenin meydana geldiği hallerde kirleten, kirletmeyi durdurmak, kirletmenin etkilerini gidermek veya azaltmak için gerekli tedbirleri almakla yükümlüdürler." hükmü bulunmaktadır. Bu kanun kapsamına, araştırma konusu olan çevresel kirleticilerden bitkisel ve hayvansal faaliyetler sonucu oluşan atıklar da girmektedir. Bu atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf ihtiyacı, dolaylı olarak bitkisel ve hayvansal atıklardan enerji eldesi olanaklarını doğurmuştur. Bitkisel ve hayvansal atıklar, son yıllarda yenilenebilir enerji üretimine katkı sağlayan biyokömür kaynakları olmuştur. Bitkisel atıkların çevreye, hayvansal atıklar kadar önemli boyutlarda zararları olmasa da, sonuç olarak her ikisinde de atık biyokömürle

oluşmakta ve sürdürülebilir bir atık yönetimi gerekmektedir. Bitkisel üretim faaliyetleri sonucu oluşan atıklara genellikle yakma işlemi uygulanmakta ve zehirli gazlar atmosfere karışarak hava kirliliğine neden olmaktadır. Bu atıklar, çevre dostu ürünlerden olan biyokömüre dönüştürülebilir. Hayvansal üretim faaliyetleri sonucu oluşan atıkların kullanımı denilince, akla ilk gelen biyogaz üretimi olmaktadır. Bu atıklar sadece biyogaz üretmek için değil, alternatif olarak biyokömür üretmek için de kullanılabilir. Biyogazın çok fazla avantajları olsa da, bu avantajlar biyogaz üretiminin yapıldığı bölge ile sınırlı kalabilir. Bu kapsamda değerlendirildiğinde, hayvansal atıkların bulunduğu bölgeye biyogaz üretimi için sağladığı avantajlar ile birlikte fazla olan atıklar ya da tercihe göre atıkların tamamı, yavaş piroliz prosesi ile sera gazı salınımını azaltma ve toprak verimliliğini artırma özellikleri olan biyokömüre dönüştürülebilir. Bu nedenlerle çevre dostu özellikleri olan biyokömürün, organik atıklardan enerji eldesine alternatif ve ekonomik avantajları gibi sebeplerden dolayı gelecek yıllarda üretimine önem verileceği öngörülmektedir.

Hayvansal atıklar için Malatya ilinin 2019, 2018 ve 2017 yılı hayvan (büyükbaş süt sığırları, küçükbaş süt veren koyun+keçi ve hindi+kaz+ördek+yumurta tavuğu kümes hayvanı) sayılarına bağlı olarak, atık miktarını temsil eden kuru gübrenin kullanılabilirlik oranına göre, yavaş piroliz yöntemi tercihi kabul edilerek biyokömüre dönüşüm potansiyeli Tablo 2'de verilmiştir. TÜİK 2020 Hayvancılık İstatistikleri'ne göre 2019, 2018 ve 2017 yılının biyokömür dönüşüm potansiyeli ayrı ayrı hesaplanmıştır. Her üç yılın biyokömür potansiyeli, büyükbaş ve küçükbaş hayvan sınıfına göre hayvan sayılarında önemli farklar olmadığı için, bu hayvan sınıfları arasında potansiyel miktarın birbirine yakın değerlerde olduğu saptanmıştır. Kümes hayvanı sınıfında ise, 2017 yılından 2019 yılına kadar tavuk çiftliği işletme sayılarında artış olduğu için, 2019 yılında 2605 ton/yıl olarak en fazla miktarda biyokömür potansiyeli olduğu tespit edilmiştir. 2019 yılında, büyükbaş hayvan sınıfında 28286 ton/yıl ve küçükbaş hayvan sınıfında 1919 ton/yıl biyokömür potansiyeli belirlenmiştir. Malatya ilinin 2019, 2018 ve 2017 yılı hayvansal atıklar biyokömür dönüşüm potansiyeli; hayvan sınıflarının toplamına göre 95765 ton/yıl ve yıllık ortalama 31922 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, Malatya ilinde 2019, 2018 ve 2017 yılı hayvansal atıkların toplam biyokömür dönüşüm potansiyelinin % 87.2'sini büyükbaş hayvan atıklarının oluşturduğu belirlenmiştir.

Tablo 2. Malatya ili hayvansal atıklar kaynaklı biyokömür dönüşüm potansiyeli (Animal waste-based biochar transformation potential of Malatya province)

Hayvan Sınıfı	Yıl	Hayvan sayısı	Yaş gübre (ton/yıl)	Kuru gübre oranı (%)	Kuru gübre (ton/yıl)	Kullanılabilir oran (%)	Kullanılabilir kuru gübre (ton/yıl)	Biyokömür dönüşüm oranı (%)	Biyokömür potansiyeli (ton/yıl)
Büyükbaş ¹	2019	98609	978990	12.7	124332	65	80816	35	28286
	2018	97234	965339	12.7	122598	65	79689	35	27891
	2017	95466	947786	12.7	120369	65	78240	35	27384
Küçükbaş ²	2019	210125	168730	25	42183	13	5484	35	1919
	2018	204508	164220	25	41055	13	5337	35	1868
	2017	204865	164507	25	41127	13	5347	35	1871
Kümes ³	2019	1029785	30070	25	7518	99	7443	35	2605
	2018	838800	24493	25	6123	99	6062	35	2122
	2017	719247	21002	25	5251	99	5198	35	1819
Toplam		3498639	3465137		510556		273616		95765

¹ Hayvan başına yaş gübre miktarı: 27.2 kg/gün, kuru gübre oranı: % 12.7, kullanılabilirlik oranı: % 65, yavaş piroliz ile biyokömür dönüşüm oranı: % 35

² Hayvan başına yaş gübre miktarı: 2.2 kg/gün, kuru gübre oranı: % 25, kullanılabilirlik oranı: % 13, yavaş piroliz ile biyokömür dönüşüm oranı: % 35

³ Hayvan başına yaş gübre miktarı: 0.08 kg/gün, kuru gübre oranı: % 25, kullanılabilirlik oranı: % 99, yavaş piroliz ile biyokömür dönüşüm oranı: % 35

Bitkisel atıklar için Malatya ilinin 2019, 2018 ve 2017 yılı bahçe ürünleri (kayısı, elma, ceviz, armut, badem, kiraz, şeftali+nektarin, vişne, erik) ağaç sayılarına bağlı olarak, ürüne göre değişiklik gösteren budama atık katsayılarına ve kullanılabilirlik oranına göre, yavaş piroliz yöntemi tercihi kabul edilerek biyokömüre dönüşüm potansiyeli Tablo 3'te verilmiştir.

TÜİK 2020 Bitkisel Üretim İstatistikleri'ne göre 2019, 2018 ve 2017 yılının budama atıklarının biyokömür dönüşüm potansiyeli ayrı ayrı hesaplanmıştır. Her üç yılın biyokömür potansiyeli, bahçe ürün tipine göre meyve veren ağaç sayılarında (badem ve ceviz haricinde) önemli farklar olmadığı için, bu ürün tipleri arasında potansiyel miktarın birbirine yakın değerlerde olduğu saptanmıştır. Malatya ilinin 2019, 2018 ve 2017 yılı bitkisel atıklar biyokömür dönüşüm potansiyeli; bahçe ürünü toplamına göre 36554 ton/yıl ve yıllık ortalama 12185 ton/yıl

olarak hesaplanmıştır. Araştırmada, üç yılın bitkisel atıklardan oluşan toplam biyokömür dönüşüm potansiyelini, birinci sırada % 89.7 oran ile kayısı ağacı budama atıklarının oluşturduğu belirlenmiştir. Bu oranı ikinci sırada % 3.4 oran ile elma ağacı budama atıkları takip etmiştir. Bahçe ürünleri budama atıklarından en fazla biyokömür dönüşüm potansiyeli olan yıllara göre miktarları; kayısı 2019 yılı 11064 ton/yıl, elma 2018 yılı 415 ton/yıl, badem 2019 yılı 228 ton/yıl, ceviz 2019 yılı 191 ton/yıl, kiraz 2019 yılı 156 ton/yıl, armut 2017 yılı 100 ton/yıl, şeftali+nektarin 2018 yılı 100 ton/yıl, erik 2019 yılı 63 ton/yıl, vişne 2017 ve 2018 yılı 52 ton/yıl olarak saptanmıştır. Bitkisel atık grubunda olan, Malatya ilinde yetiştiriciliği yapılan buğday, mısır ve şeker pancarı tarımsal atıkları, hayvancılıkta önemli yem kaynakları olması dolayısıyla ticari değerleri olduğundan; ve hayvancılık faaliyeti yapılan barınaklarda kısa süreli bulunan/bulunabilecek hayvan grupları; biyokömür potansiyeli kapsamında değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 3. Malatya ili bahçe budama atıkları kaynaklı biyokömür dönüşüm potansiyeli (Garden pruning wastes based biochar transformation potential of Malatya province)

Bahçe Ürünü	Yıl	Meyve veren ağaç sayısı	Budama Katsayısı (kg/ağaç.yıl)	Budama Atığı (ton/yıl)	Kullanılabilir oran ¹ (%)	Kullanılabilir Budama Atığı (ton/yıl)	Biyokömür dönüşüm oranı ² (%)	Biyokömür potansiyeli (ton/yıl)
Kayısı	2019	7799755	5.79	45161	70	31612	35	11064
	2018	7626832	5.79	44159	70	30912	35	10819
	2017	7687200	5.79	44509	70	31156	35	10905
Elma	2019	717618	2.34	1679	70	1175	35	411
	2018	724087	2.34	1694	70	1186	35	415
	2017	721046	2.34	1687	70	1181	35	413
Ceviz	2019	227787	3.43	781	70	547	35	191
	2018	218745	3.43	750	70	525	35	184
	2017	182275	3.43	625	70	438	35	153
Armut	2019	164521	2.45	403	70	282	35	99
	2018	165714	2.45	406	70	284	35	99
	2017	166187	2.45	407	70	285	35	100
Badem	2019	159873	5.81	929	70	650	35	228
	2018	143757	5.81	835	70	585	35	205
	2017	123816	5.81	719	70	504	35	176
Kiraz	2019	107576	5.90	635	70	444	35	156
	2018	106720	5.90	630	70	441	35	154
	2017	105005	5.90	620	70	434	35	152
Şeftali + Nektarin	2019	51408	7.23	372	70	260	35	91
	2018	56280	7.23	407	70	285	35	100
	2017	55855	7.23	404	70	283	35	99
Vişne	2019	38248	5.37	205	70	144	35	50
	2018	39395	5.37	212	70	148	35	52
	2017	39535	5.37	212	70	149	35	52
Erik	2019	34922	7.34	256	70	179	35	63
	2018	34229	7.34	251	70	176	35	62
	2017	33820	7.34	248	70	174	35	61
Toplam		27532206		149196		104439		36554

¹Kullanılabilir oran: % 70

²Yavaş piroliz ile biyokömür dönüşüm oranı: % 35

Çalışma kapsamında, Malatya ili hayvansal ve bitkisel atıklar kaynaklı biyokömür dönüşüm potansiyelinin, 2019 yılında 45163 ton/yıl, 2018 yılında 43971 ton/yıl ve 2017 yılında 43185 ton/yıl olduğu belirlenmiştir. 2019 yılı için hayvansal atık kaynaklı biyokömür potansiyeli, toplam potansiyelin % 72.6'sını ve bahçe ürünleri budama atıkları kaynaklı biyokömür potansiyeli ise toplam potansiyelin % 27.4'ünü oluşturmaktadır. 2018 yılı için hayvansal atık kaynaklı biyokömür potansiyeli, toplam potansiyelin % 72.5'ini ve bahçe ürünleri budama atıkları kaynaklı biyokömür potansiyeli ise toplam potansiyelin % 27.5'ini oluşturmaktadır. 2017 yılı için hayvansal atık kaynaklı biyokömür potansiyeli, toplam potansiyelin % 72'sini ve bahçe ürünleri budama atıkları kaynaklı biyokömür potansiyeli ise toplam potansiyelin % 28'ini oluşturmaktadır.

Başka çalışmalarda, biyokömürün sera gazı emisyonlarını azaltma etkisi araştırılmıştır. Jia vd. (2016) biyokömür ilavesi ve ters yüz etme sıklığının, biyokömür-tavuk gübresi kompostlamasına etkisini incelemiştir. Araştırmada, metan ve karbondioksit emisyonları incelenerek, biyokömür ilavesinin kompostlama sürecini hızlandırmada etkili olduğu tespit edilmiştir. Kompostlama ile pH artmış ve nem içeriği biyokömür değişikliği ile yapılan tüm kompostlama süreci boyunca önemli ölçüde azalmıştır. % 20 biyokömür ilavesinin yapıldığı örnekte, kontrol örneğe kıyasla metan emisyonunda % 54.9'luk bir azalma olmuştur. Ayrıca, kompostu daha sık ters yüz etmenin kompostlama işlemini hızlandırdığı ve metan emisyonunu azalttığı belirlenmiştir. Oomori vd. (2016) Japonya'nın Ehime vilayetinde üç çeltik tarlasına bambu biyokömürü uygulayarak, biyokömürün karbon bütçesi, metan ve azot oksit emisyonları üzerindeki etkisini araştırmıştır. Sahaya bambu biyokömürü uygulayarak, nadas ve pirinç yetiştirme mevsimlerindeki emisyonları takip etmiştir. Çalışma sonucunda, çeltik alanlarındaki bambu biyokömür uygulamasının küresel ısınmayı hafifletmeye yardımcı olabileceği kanısına varılmıştır. Wang vd. (2013) kamış'ı kullanarak ürettiği biyokömürü karakterize etmiş ve N₂O emisyonu üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Biyokömürün N₂O emisyonuna etkisi piroliz sıcaklığı ile değişkenlik göstermiştir. 300-400 °C sıcaklık aralıklarında üretilen biyokömürde kalan polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH'lar), N₂O emisyonu azaltılmasında önemli rol oynadığı, ancak 500-600 °C yüksek sıcaklık aralıklarında önemli etkileri olmadığı belirlenmiştir. 200-400 °C düşük sıcaklık aralıklarında ise, fenolik bileşiklerin biyokömürden uzaklaştırılması, N₂O emisyonunun azalmasına neden olmuştur. Sonuç olarak, kamış biyokömürün tarımsal topraklara eklenmesi ile toprakta N₂O emisyonunun azaltılabileceği ve küresel ısınmayı da azaltılabileceği bildirilmiştir. Song ve Guo, (2012) kümes hayvanı atıklarını kullanarak, yavaş piroliz yöntemiyle farklı sıcaklıklarda biyokömür üretimini incelemiştir. Sıcaklık kademeli olarak 300-600 °C sıcaklık aralığında arttığında biyokömür veriminde; toplam N içeriği, organik karbon içeriği ve kation değişim kapasitesi azalmış olup pH, kül içeriği ve organik karbon stabilitesi artmıştır. Tarımsal faaliyetlerde kullanılmak üzere, kümes hayvanı atıkları biyokömürü üretilirken 300 °C sıcaklık seçiminin uygun olacağı, karbon tutma ve diğer çevresel uygulamalar için ise 500 °C sıcaklık seçimi önerilmiştir.

5. Sonuçlar (Results)

Fosil yakıtların sürdürülebilir olmadığı ve yakıt kaynaklarının artırılması gerekliliği olan çağımızda, biyokütleden enerji eldesi önem kazanmaya devam etmektedir. Bu kapsamda, atık yönetimi amaçlı, organik içerikli atık biyokütle kullanılan enerji eldesi çalışmaları öncelikli olmuştur. Son yıllarda küresel olarak araştırılan ve ülkemizde de yeteri kadar tanınmayan biyokömür, çevre dostu uygulamalara katkı sağlayabilecek potansiyel ürünlerden biri olmuştur. Biyokömür'ün karbon tutma, sera gazı emisyonlarını azaltma, atık yönetimi, çevresel iyileştirme, yenilenebilir enerji, toprak iyileştirme ve ürün verimliliğini artırma avantajlarının olduğu araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir. Bu nedenlerle, sürdürülebilir olan hayvansal ve bitkisel üretim faaliyetleri atıklarının, biyokömüre dönüşüm potansiyeli araştırma konusu olmuştur.

Çalışmada, birçok avantajı olduğu bildirilen organik atıklar kullanılarak üretilebilecek biyokömür için, Malatya ilinde hayvansal ve bitkisel üretim faaliyetleri sonucunda oluşan kolay temin edilebilir, çeşitli tipte potansiyel atık miktarları saptanmış ve bu atıkların biyokömüre dönüşüm potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. 2019, 2018 ve 2017 yılı biyokömür dönüşüm potansiyeli bulgulara göre:

- Toplam biyokömür dönüşüm potansiyeli, üç yıl için 132319 ton ve yıl bazında ortalama 44106.3 ton olarak belirlenmiştir.
- 2019, 2018 ve 2017 yılı için; hayvansal atık kaynaklı biyokömür potansiyeli, toplam potansiyelin % 72.4'ünü ve bahçe ürünleri budama atıkları kaynaklı biyokömür potansiyeli ise toplam potansiyelin % 27.6'sını oluşturmuştur. Bu oranlar, yıl bazında da yaklaşık oranlarda seyretmiştir.
- Hayvansal atıklar kaynaklı toplam biyokömür potansiyelinin, yıl bazında yaklaşık % 87'sini büyükbaş hayvan atıklarının oluşturduğu saptanmıştır.
- Bahçe ürünleri budama atıkları kaynaklı toplam biyokömür potansiyelinin, yıl bazında yaklaşık % 88'ini kayısı ağacı budama atıklarının oluşturduğu tespit edilmiştir.

Biyokömürün önemli avantajlarından dolayı, özellikle tarımsal faaliyetlerde uygulanmasının, dolaylı olarak da sera gazı salınımını azaltmasına yönelik farkındalığın, yakın gelecekte artacağı öngörülmektedir. Organik

atıklardan biyokömür üretimi ile hem ülke ekonomisine katkı sağlanabilir, hem de çevre kirliliği minimum düzeylere indirilebilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- Agronomy Fact Sheet: Biochar, 2010. Garden Gate University.
- Bilandzija, N., Voca, N., Kricka, T., Matin, A., Jurisic, V., 2012. Energy potential of fruit tree pruned biomass in Croatia. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10 (2), 292-298.
- CEC February, 2019. Modular Biomass Power Systems to Facilitate Forest Fuel Reduction Treatment. Energy Research and Development Division, Final Project Report, CEC-500-2019-019.
- CEC April, 2019. Accelerating Drought Resilience Through Innovative Technologies. Energy Research and Development Division, Final Project Report, CEC-500-2019-037.
- Chaiwong, K., Kiatsiriroat, T., Vorayos, N., Thararax, C., 2012. Biochar production from freshwater algae by slow pyrolysis. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 6 (2), 186-195.
- Colantoni, A., Evic, N., Lord, R., Retschitzegger, S., Proto, A.R., Gallucci, F., Monarca, D., 2016. Characterization of biochars produced from pyrolysis of pelletized agricultural residues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 187-194.
- Çevre Kanunu. Kanun Numarası: 2872. Kabul Tarihi: 09.08.1983. Resmi Gazetede Yayımlanma Tarihi: 11.08.1983. Sayı:18132, Cilt: 22, 5909-5920.
- Gheorghe, C.B., Mărculescu, C., Badea, A., Apostol, T., 2010. Pyrolysis Parameters Influencing the Bio-Char Generation from Wooden Biomass. *U.P.B. Sci. Bull., Series C*, 72 (1), 29-38.
- Hossain, M.K., Strezov, V., Chan, K.Y., Ziolkowski, A., Nelson, P.F., 2011. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *Journal of Environmental Management*, 92, 223-228.
- International Energy Agency (IEA) Bioenergy, 2006. Biomass Pyrolysis. Annual Report.
- Jia, X., Wang, M., Yuan, W., Ju, X., Yang, B., 2016. The influence of biochar addition on chicken manure composting and associated methane and carbon dioxide emissions. *BioResources*, 11 (2), 5255-5264.
- Kaygusuz, K., 2001. Hydropower and Biomass as Renewable Energy Sources in Turkey. *Energy Sources*, 23 (9), 775-799.
- Lee, Y., Park, J., Ryu, C., Gang, K.S., Yang, W., Park, Y-K., Jung, J., Hyun, S., 2013. Comparison of biochar properties from biomass residues produced by slow pyrolysis at 500 °C. *Bioresource Technology*, 148, 196-201.
- Lehmann, J., Kuzyakov, Y., Pan, G., Ok, Y.S., 2015. Biochars and the plant-soil interface. *Plant Soil*, 395, 1-5.
- LIFE 03 TCY/TR/000061. A Guide on Exploitation of Agricultural Residues in Turkey. Exploitation of Agricultural Residues in Turkey, EU-Life Programme Project, Final Report ANNEX XIV, 686-761.
- Llorach-Massana, P., Lopez-Capel, E., Peña, J., Rieradevall, J., Montero, J.I., Puy, N., 2017. Technical feasibility and carbon footprint of biochar co-production with tomato plant residue. *Waste Management*, 67, 121-130.
- Mitchell, P.J., Dalley, T.S.L., Helleur, R.J., 2013. Preliminary laboratory production and characterization of biochars from lignocellulosic municipal waste. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 99, 71-78.
- Navia, R., Crowley, D.E., 2010. Closing the loop on organic waste management: biochar for agricultural land application and climate change mitigation. *Waste Management & Research*, 28 (6), 479-480.
- Oomori, S., Toma, Y., Nagata, O., Ueno, H., 2016. Effects of bamboo biochar application on global warming in paddy fields in Ehime prefecture, Southern Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 62 (5-6), 553-560.
- Shackley, S., Sohi, S., Ibarrola, R., Hammond, J., Mašek, O., Brownsort, P., Cross, A., Prendergast-Miller, M., Haszldine, S., 2013. Biochar, Tool for Climate Change Mitigation and Soil Management. *Geoengineering Response to Climate Change: Selected Entries from the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, Springer New York, 73-140.
- Song, W., Guo, M., 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 94, 138-145.
- Sümer, S.K., Kavdır, Y., Çiçek, G., 2016. Türkiye’de Tarımsal ve Hayvansal Atıklardan Biyokömür Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 19 (4), 379-387.
- TÜİK, 2020. Veritabanları, Tarım. <http://www.tuik.gov.tr/PreTabloArama.do>. (Erişim Tarihi:28.02.2020).
- Uzoma, K.C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., Nishihara, E., 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use and Management*, 27, 205-212.
- Wang, Z., Zheng, H., Luo, Y., Deng, X., Herbert, S., Xing, B., 2013. Characterization and influence of biochars on nitrous oxide emission from agricultural soil. *Environmental Pollution*, 174, 289-296.
- Winsley, P., 2007. Biochar and bioenergy production for climate change mitigation. *New Zealand Science Review*, 64 (1), 5-10.
- Zornoza, R., Moreno-Barriga, F., Acosta, J.A., Munoz, M.A., Faz, A., 2016. Stability, nutrient availability and hydrophobicity of biochars derived from manure, crop residues, and municipal solid waste for their use as soil amendments. *Chemosphere*, 144, 122-130.



BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ DEPARTMANINDA KULLANICILARIN TALEPLERİNE CEVAP VERME SÜRESİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TAHMİN EDİLMESİ

Kerim Kürşat ÇEVİK^{1*}, Mehmet KAYAKUŞ²

¹ Akdeniz Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Antalya, Türkiye

² Akdeniz Üniversitesi, Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Antalya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Makine Öğrenmesi,
DVM,
Sınıflandırma,
Talep Süresi,
BT.*

Öz

Günümüzde şirketlerin artan rekabet şartlarından dolayı bilişim teknolojilerine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bilişim teknolojilerinin (BT) sorunsuz, hızlı ve güvenilir çalışması yapılan yatırım kadar önemlidir. Şirketlerde bulunan bilişim teknoloji(BT) departmanları yapılacak yatırımların planlanmasından, mevcut sistemin sorunsuz çalışmasından ve oluşabilecek sorunlara hızlı çözümler üretilmesinden sorumludurlar. Şirket çalışanlarının BT departmanına sorunları iletmesi, süreci takip etmesi ve raporlandırması amacıyla bilgi işlem takip programları kullanılmaktadır. Böylece sorunların ve çözüm sürecinin yönetimi, bilgilendirmesi ve raporlandırılması profesyonel ve kolay yapılabilir. Sorunların hızlı çözülmesi ve çözüm süresinin bilinmesi çalışanlarının zamanı iyi kullanmasını sağlayacak ve belirsiz bekleme süresinin yaratacağı olumsuz etkileri ortadan kaldıracaktır. Bu çalışmada bir şirketin kullanıcıdan gelen talepleri çözme süresi makine öğrenmesi yöntemiyle tahmin edilmiştir. Bunun için kullanıcılardan gelen 2320 talep; departman, destek türü, sorumlu ve kategori olarak kayıt altına alınmaktadır. Sonuçtaki destek süreleri için bir sınıf yapısı ile test edilmiştir. Harcanan süreler 0-10 dakikadan başlayıp 90 dakika ve daha fazlası şeklinde 10'ar dakika aralıklarla on adet sınıfa ayrılmıştır. Bu veri setleri üzerinde makine öğrenme yöntemleri kullanılmıştır. Gerçekleştirilen testler sonucunda en iyi sonuç Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine-SVM) metodu kullanılarak tasarlanan model ile, eğitim başarısı %99.82, test başarısı ise %93.11 olarak ölçülmüştür. Bu sistem sayesinde kullanıcının bekleme süresi ve sorunun ortalama çözüm süresi tahmin edilmektedir.

PREDICTION OF SOLUTION TIME OF USER REQUESTS DELIVERED TO THE INFORMATION TECHNOLOGIES DEPARTMENT VIA MACHINE LEARNING

Keywords

*Machine Learning,
SVM,
Classification,
Request Time,
IT.*

Abstract

Today, the need for information technologies is increasing day by day due to the increasing competitive conditions of companies. Companies that make timely and adequate investments take advantage of their competitors and take a step forward. Investments in information technologies (IT) are as important as the smooth, fast and reliable investment. Therefore, companies need professional teams to protect the performance of information systems and to find solutions to the problems they will encounter. The information technology (IT) departments in companies are responsible for planning investments, the smooth operation of the existing system and the rapid solutions to the problems that may occur. The company's employees communicate problems and follow the process; IT departments often use computing tracking programs to provide reports to administrators about the work done. Thus, management, information and reporting of problems and the solution process can be done more professionally and easily. Fast-solving problems and knowing the wait time will allow company employees to use and plan time better and avoid the negative effects of uncertain wait time. In this study, it was tried to estimate the time of a company to solve requests from the user by machine learning method. For this,

* İlgili yazar / Corresponding author: kcevik@akdeniz.edu.tr, +90-242-310-6963

2320 requests from users; the department is registered as support type, responsible and category. Tested with a class structure for resulting support times. The time spent was divided into ten classes starting from 0-10 minutes and 11 minutes apart in the form of 90 minutes or more. Machine learning methods were used on these data sets. With the model designed using the Support Vector Machine (SVM) method, the best result as a result of the tests performed, the education success was measured as 99.82% and the test success as 93.11%. This system developed estimates the user's wait time and the average resolution time (minutes) of the problem.

Alıntı / Cite

Çevik, K., K., Kayakuş, M., (2020). Bilişim Teknolojileri Departmanında Kullanıcıların Taleplerine Cevap Verme Süresinin Makine Öğrenmesi ile Tahmin Edilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 728-739.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

K.K. Çevik, 0000-0002-2921-506X
M. Kayakuş, 0000-0003-0394-5862

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	17.04.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	06.07.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	14.07.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Giriş (Introduction)

Bilişim Teknolojileri (BT) bilgiyi yakalama, depolama, işleme, geri alma ve iletme becerisi olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde BT'leri hem yetenek hem de uygun maliyet konusunda önemli ilerleme kat etmiştir. Bu nedenle, bilgi yönetimini kolaylaştırmak için birçok kurum özel olarak tasarlanmış Bilişim Sistemleri (BS) kullanılmaktadır (Wu ve Wang, 2006). Hastane (Özkaraca vd., 2018), tedarik zinciri (Şahin ve Supçiller, 2015), lojistik (Öztürk vd., 2016) ve ulaşım (Yaslı ve Güvenasan, 2019) sistemlerinde bilişim teknolojilerinin sağladığı imkan ve olanaklardan faydalanılmaktadır.

BT bir şirketin hayatta kalması için bir zorunluluk durumuna gelmiştir ve BT departmanının işlevi giderek önem kazanmaktadır (Lee, Chen, ve Chang, 2008). Şirketler, giderek artan bir şekilde, bir şirketin stratejik seçimlerini ve değer zinciri faaliyetlerini desteklemek ve şekillendirmek için bilgi sistemleri kullanmaya başlamıştır. BT'nin dağıtım yeteneklerinin, bir şirketi rekabette ne kadar avantajlı konuma getirdiğini ve rekabet için ne kadar önemli olduğunu ispat etmiştir (Tian vd., 2010). BT alanındaki gelişmeler, şirketlerin yüksek hızlı iletişim ve bağlantı kurmasına olanak sağladığı için tedarik zincirlerinin gelişmesini sağlamıştır (Bardhan vd., 2006).

Kurumsal yapıda BT departmanının örgüt içerisindeki rolü ve etkinliği her geçen gün önemli ölçüde artmaktadır. Bir zamanlar bilgi sistemlerinin geliştiricisi ve operatörü olan BT departmanı artık çok daha kapsamlı bir role sahip sahiptir. Kişisel bilgisayarların kullanılması, bilgi teknolojisi kullanıcılarının daha fazla ve daha sık BT departmanı ile etkileşime girmesine neden olmaktadır. Kullanıcılar, BT departmanının donanım ve yazılım seçimi, kurulum, sorun çözme, ağ bağlantıları, sistem geliştirme ve yazılım eğitimi gibi sayısız görev konusunda kendilerine yardımcı olmasını beklemektedir (Pitt vd., 1995).

Şirketler kullanıcıların taleplerine kısa sürede ve güvenilir cevaplar vermek, işleri takip etmek, çalışmalarını raporlandırmak ve kullanıcıyı hızlı bir şekilde bilgilendirmek, iş yükünü daha yönetilebilir hale getirmek ve verimliliği artırmak için "Bilgi İşlem Talep Takip Sistemi" geliştirmişlerdir. Böylece BT departmanının verimliliğini ve servis kalitesini artmıştır (Coşkun ve Baykal, 2010).

Kurumsal yapılarda bulunan BT, şirketin verimliliğini, performansını ve rekabet gücünü doğrudan etkilemektedir. BS yapılacak yatırımlar kadar sistemin başarıyla sürdürülmesinde hayati öneme sahiptir. Bu yüzden şirketler BT desteğini dışarıda almak yerine kendi BT departmanını oluşturmayı tercih etmektedir. Böylece karşılaşılabilecek sorunlara daha kısa sürede ve güvenilir çözümler üretilebileceklerdir.

Kullanıcılar karşılaştıkları problemleri BT departmanın bildirdiklerinde ortalama çözüm süresini ve süreci bilmek istemektedirler. Böylece zamanlarını planlama ve daha verimli kullanma yeteneğine sahip olabileceklerdir.

Bu çalışmada kurumsal bir şirkette bulunan bilişim sisteminin, kullanıcıdan gelen problemlere çözüm üretme süresinin tahmini (sınıflandırması) makine öğrenmesi yöntemleri ile yapılmıştır. Bu çalışma sayesinde kullanıcılar karşılaştıkları sorunu bildirdikleri BT departmanından ortalama çözüm süresini öğrenebileceklerdir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Literatürde bilişim teknolojileri departmanlarının kullanıcı taleplerine cevap süresinin tahminini yapan çalışma bulunmamaktadır. Literatürde benzer çalışmalar başka bir alan olan çağrı merkezlerinin çözüm süresinin tahmini üzerine bulunmaktadır ve bu tahmin metotlarının başarısı üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Kullanıcıların karşılaştıkları sorunları iletme ve çözüm bulma ihtiyacı birçok farklı kurumda önem arz etmektedir. Özellikle kurumlarda çağrı merkezi olarak adlandırılan birimlerde müşterilerin ihtiyaçlarına göre farklı bekleme süreleri bulunmaktadır. Burada sorunun önemi, departmanın yoğunluğu ve çalışan sayısı gibi değişkenler çözüm sürecini etkilemektedir. Çağrı merkezinde kullanıcıların bekleme süresinin azaltılması ve bekleme süresinin tahmini için farklı uygulamalar ve teknikler geliştirilmiştir.

Yapılan bir çalışmada, çağrı merkezini arayan kullanıcıların bekleme süresini azaltmak için akıllı dış arama sistemini önermiştir. Burada teknolojik alt yapı kullanarak çağrı merkezine gelecek aramalar önceden belirlenmiş ve akıllı dış arama sistemiyle aramalar otomatik olarak yapılmıştır. Böylece çağrı merkezinin yoğunluğu önemli ölçüde azaltılmıştır (Sayın, 2013).

Bankalarda müşterilerin çağrı merkezlerinde bekleme sürelerini optimize etmek için kuyruk teorisinden faydalanılmaktadır. Çağrı merkezlerinin hızı ve kalitesi müşteri memnuniyetini oluşturan etkenlerin başında gelmektedir. Bu yüzden yöneticiler kuyrukta bekleme süresini azaltmak ve hizmet kalitesini arttırmak istemektedirler. Çağrı merkezine gelen aramaların sayısı ve süresi tahmin edilemediği için bankaların bu sistemlere yaptıkları yatırımlar için net bir model önerilememektedir. Çalışan sayısının artırılması bekleme süresini azaltacaktır ama günün her saati yoğun olmayan çağrı merkezinin maliyetini arttıracaktır. Ayrıca müşteri temsilcilerinin atıl zamanları oluşacaktır. Bu sorunlara çözüm olarak bekleme sürelerinin tahmini ve modellenmesi için dinamik kuyruk modelleri kullanılması önerilmektedir. Böylece yoğun günler için part-time müşteri temsilcilerinin değerlendirilmesi sağlanabilecektir (Kazan vd., 2012).

Telekomünikasyon sektöründe kullanılan çağrı merkezleri müşteri ile doğrudan iletişim kurmak ve müşteri memnuniyetini arttırmak için önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada çağrı merkezinin iyileştirmesi için müşteri gözünden bakılarak ve kısıtlar teorisi kullanılarak çözüm önerisinden bulunulmuştur. Burada ilk olarak müşteriden gelen sorunlar gerçeklik ağacı ile tespit edilmiş ve üç temel başlık altında sınıflandırılmıştır. Daha sonra geçiş ağaçları kullanılarak tespit edilen problemler için çözüm uygulamaları belirlenmiştir. Problemlerin çözümleri sonrasında oluşacak durumlar gelecek gerçeklik ağacı ile ortaya koyulmuştur. Böylece bir telekomünikasyon şirketi için problemlerin temel nedenleri tespit edilerek bir yol haritası çıkarılması sağlanmıştır (Birgün vd., 2011).

Çağrı merkezlerinde çalışan müşteri temsilcisi sayısı ile arayan müşteri sayısı arasında optimum bir bağıntı kurulması önemlidir. Burada önerilen modelde çağrı merkezini arayan müşterilerin bazı temel sorunları kendi kendine çözmesi hedeflenmiştir. Kullanıcının arama nedeni tespit edilmiş ve sorunu kendi başına çözümü için bir yol haritası sunulmuştur. Geliştirilen örnek olayda sim kart blokesinin çözümü test edilmiştir. Çalışma sonucunda çağrı merkezlerine müşteri gelişlerinin %5 azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca müşterilerin sistemde bekleme sürelerinin 6,48 saniye; kuyrukta bekleme sürelerinin 6,84 saniye azaldığı görülmüştür (Keksın vd., 2018).

Yapılan çalışmalar çağrı merkezini arayan kişilerin belirsiz bekleme sürelerinden şikâyet ettiğini göstermiştir. Belirsiz bekleme süreleri daha uzun hissedilmekte ve müşterilerde kızgınlık hissi yarattığını tespit edilmiştir (Çiçek ve Atılgan, 2012; Maister, 1985). Başka bir çalışmada ise kullanıcılara ortalama bekleme süresinin haber verildiğinde beklemenin daha kısa algılandığı sonucu ortaya çıkmıştır (Ahmadi, 1984). Bekleme süresini bilen müşterilerin/kullanıcıların stresi azaldığı ve süreyi daha az algıladığı belirlenmiştir (Osuna, 1985). Çağrı merkezlerinde müşterilere ne kadar bekleyeceklerinin süresinin verilmesi şirketin hizmet kalitesini arttıracaktır. Böylece müşterilerinin memnuniyeti artacak ve güven duygusu pekişecektir (Çiçek ve Atılgan, 2012).

Thiongane ve arkadaşları basit sezgisel tarama temelli iki yeni gecikme öngörücüsü geliştirerek çağrı merkezleri için gecikme süresi tahmini gerçekleştirmiştir. İlk tahmin modelinde hala kuyrukta bekleyen müşteri bilgileri kullanılmıştır. Nihai bekleme süreleri, kuyruktaki ilerlemelerinin basit bir tahminini kullanarak tahmin edilmiştir. İkinci modelde ise geçmiş veriler kullanılmıştır. Her kuyruk boyutu için, koşullu bir bekleme süresi, geldiklerinde önlerinde aynı kuyruk uzunluğunu bulan müşterilerin geçmiş gecikmelerinden tahmin edilmiştir (Thiongane ve Chan, 2016).

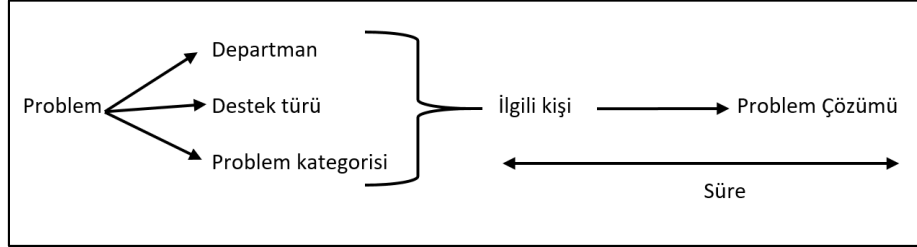
Literatürde bu konuda yapılmış çalışma araştırması yapıldığında; tam anlamıyla çalışmamızda yapmaya çalıştığımız cevap verme süresini tahmin etmeye yönelik bir akademik çalışmaya rastlanamamıştır. Bu sebeple hem akademik hem de gerçek hayatta çalışmanın etkinliği ve özgünlüğü oldukça açıktır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Kurumlarda Bilgi İşlem Merkezleri (Information Processing Centers in Institutions)

Günümüzde birçok kamusal ve özel kuruluşlar kendi bilgi işlem merkezlerine sahiptirler. Bu sayede şirket içinde meydana gelebilecek teknoloji temelli sorunlara doğru, güvenilir ve kısa sürede çözüm üretebilirler.

BT departmanı kendisine gelen sorunları departman, destek türü ve problemin kategorisine göre sınıflandırmaktadır. Bu bilgiler ışığında çözüm talep edilen problem sorunun çözümüne en uygun kişiye aktarılmakta ve problemin çözüm süreci başlamaktadır. Şekil 1. de çözüm aşaması görülmektedir.



Şekil 1. Problem Çözüm Şeması (Problem Solution Chart)

Çalışmada bir kurumsal şirkette bulunan 16 departmandan gelen talepler incelenmiştir. Bu talepler özelliklerine göre 3 destek türüne ve 6 kategoriye ayrılmıştır. Tablo 1.de talepleri görülmektedir.

Tablo 1. Problemin Sınıflandırılması (Problem Classification)

DEPARTMAN	DESTEK TÜRÜ	KATEGORİ	SORUMLU
Yönetim	Destek	Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi (BGYS)	A
Bilgi işlem	Evrak	Kurumsal kaynak planlaması (ERP)	B
İnsan kaynakları	Proje	Donanım (Pc, Laptop, yazıcı vb.)	C
İdari işler		Sunucu ile ilgili işlemler	D
Laboratuvar		Yazılım (Windows, office)	E
İhracat		Diğer işlemler	F
Proje ekibi			
ARGE			
Operasyon			
Finans			
Dış işlemler			
Kalite			
Muhasebe			
Satış			
Ticaret			
Üretim			

Bu çalışmada bilişim alanında faaliyet gösteren bir firmanın BT departmana gelen 2320 çağrının incelenmesi yapılmıştır. Tablo 1'de görüldüğü gibi dört farklı sütun içerisinde alınan giriş verileri (Departman, Destek türü, Kategori, Sorumlu) ile Harcanan Süre çıkış verileri makine öğrenmesi yöntemlerinden SVM ile sınıflandırılmıştır. Harcanan sürenin elde edilen verilerde 1 dakika ile 1000 dakika arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Verilerin incelenmesi sonucunda 90 dakika sonrasındaki verinin çok fazla olmadığı da görülmüştür. Bu sebeple sınıflandırma probleminin çıkış sınıfları (Harcanan Süre) oluşturulurken 10'ar dakikalık aralıklar belirlenmiş ve 90 dakika sonrası süreler aynı sınıfa dahil edilmiştir. Sonuçta 0-10 dakikadan başlayıp 90 dakika ve sonrası şeklinde biten 10 adet Harcanan Süre sınıfı oluşturulmuştur. Oluşturulan veri setinin örnek bir kısmı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada Kullanılan Veri Seti (Data Set Used in the Study)

DEPARTMAN	DESTEK TÜRÜ	KATEGORİ	SORUMLU	HAR. SÜRE
Bilgi İşlem	Destek	PC, Laptop, Ekran, Yazıcı...vb	A	30
Satış	Destek	Windows, Office, Java, Adobe...vb	B	10
Muhasebe	Destek	ERP, Dynamics Axapta	C	20
Operasyon	Proje	Kurumsal kaynak planlaması (ERP)	D	40
Finans	Destek	Windows, Office, Java, Adobe...vb	E	60
Operasyon	Proje	Sunucu ile ilgili işlemler	F	90
Satın alma	Destek	Windows, Office, Java, Adobe...vb	A	10
Ticaret	Evrak	ERP, Dynamics Axapta	B	30

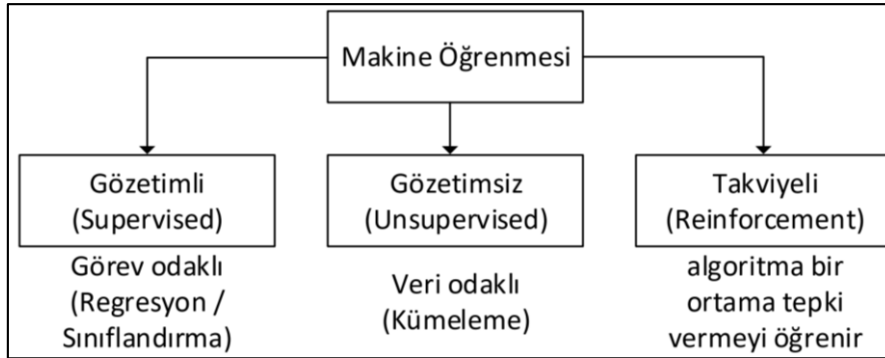
Tablo2. Devamı (Continued)

DEPARTMAN	DESTEK TÜRÜ	KATEGORİ	SORUMLU	HAR. SÜRE
İdari İşler	Destek	Windows, Office, Java, Adobe...vb	C	10
İnsan Kaynakları	Destek	PC, Laptop, Ekran, Yazıcı...vb	D	30
Satın alma	Destek	Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi (BGYS)	E	70
Bilgi İşlem	Proje	PC, Laptop, Ekran, Yazıcı...vb	F	50
...

3.2. Makine Öğrenmesi (Machine Learning)

Makine öğrenmesi bilgisayar programlarının kendisine öğretilen tecrübeler yoluyla gelecek durumları tahmin etmesini sağlamayı amaçlamaktadır. Makine öğrenmesinin temel dayanağı, giriş verisini alabilen algoritmalar oluşturmak ve çıktılarını yeni veriler ortaya çıktıkça güncellerken bir çıktıyı tahmin etmek için istatistiksel analiz kullanmaktır. Makine öğrenmesinde, veriler eğitim ve test veri seti olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Programlar eğitim veri seti ile öğrenme sağlayarak, test verilerini tahmin etmeye çalışmaktadırlar. Bu tahminlerden daha iyi sonuç elde etmek için eğitim veri setinin geniş tutulması önerilmektedir. Çünkü makineler ne kadar çok veriyi öğrenirse, o kadar tecrübe edinecek ve iyi sonuçlar üretebileceklerdir (Karakoyun ve Hacıbeyoğlu, 2014).

Literatürde birçok makine öğrenmesi yöntemi geliştirilmiş olup bunlardan bazıları; k-en yakın komşu algoritması, basit (naive) Bayes sınıflandırıcı, karar ağaçları, lojistik regresyon analizi, k-ortalamlar algoritması, rastgele orman algoritması, destek vektör makinaları ve yapay sinir ağları vb. yöntemlerdir. Bu yaklaşımların bir kısmı tahmin ve kestirim, bir kısmı kümeleme ve bir kısmı da sınıflandırma yapabilme yeteneğine sahiptir (Atalay ve Çelik, 2017).

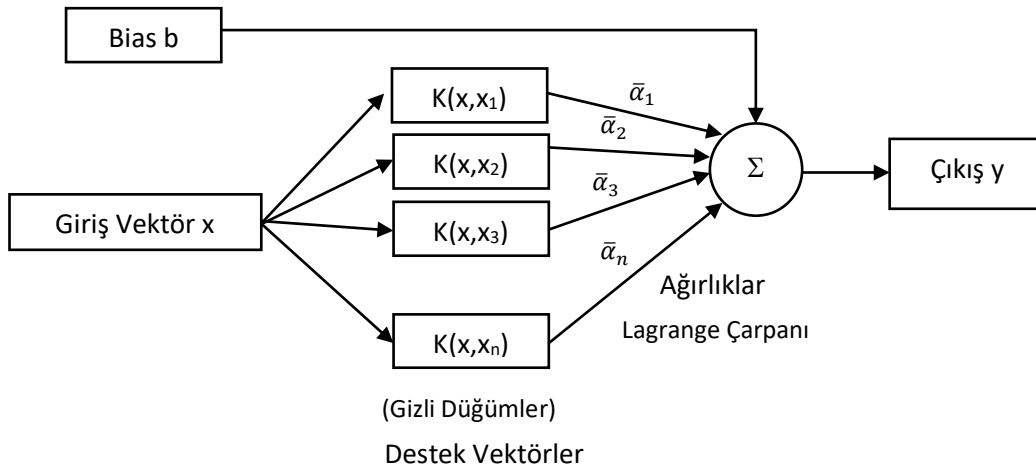


Şekil 2. Makine Öğrenmesi Çeşitleri (Types of Machine Learning) (Candan, Emir, Doğan, ve Kumbasar, 2018)

Makine öğrenmesinde öğrenme stratejileri; gözetimli, gözetimsiz ve pekiştirmeli (takviyeli) olmak üzere üç grupta incelenebilir (Şekil 2). Gözetimli öğrenmede girdi kümesinin yanında çıktı kümesi de verilirken, gözetimsiz öğrenmede bilgisayarın bu çıktı kümesi verilmeden öğrenmesi beklenir. Sınıflandırma ve regresyon problemleri gözetimli öğrenmeye, kümeleme ve yoğunluk kestirimi ise gözetimsiz öğrenmeye örnek verilebilir (Kalaycı, 2018). Makine öğrenmesinin bir çeşidi olan takviyeli öğrenme (Reinforcement Learning), bulunduğu ortamı algılayan ve ortamında hareket yapan özerk bir ajanın, hedefine ulaşabilmesinde doğru kararlar almayı nasıl öğrenebileceğini gösterir. Ajan, ortamda bir hareket yaptığı zaman, yeni durumun optimal olması için bir ödül veya ceza değeri ile takviye edilir. Ajan, amacına ulaşmak için gerçekleştirebileceği en iyi eylemi seçmeye çalışır. Ajanın amacı, en büyük toplam ödülü üreten hareketlerin sırasını öğrenmektir (Candan vd., 2018).

3.3. Destek Vektör Makinaları Sınıflandırıcısı (Support Vector Machine Classifier)

Support Vector Machine (SVM) sınıflandırma, örüntü tanıma ve regresyon problemlerinin çözümü için temelleri istatistiksel öğrenme teorisine (Vapnik-Chervonenkis (VC) teorisine) dayanarak Vapnik tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir (Cortes ve Vapnik, 1995). SVM algoritması muhtemelen en yaygın kullanılan çekirdek öğrenme algoritmasıdır. Optimizasyon teorisinde iyi yapılandırılmış kavramları kullanarak sağlam örüntü tanıma performansı sağlar (Bottou ve Lin, 2007). Genel SVM yapısı Şekil 3'de gösterilmiştir.

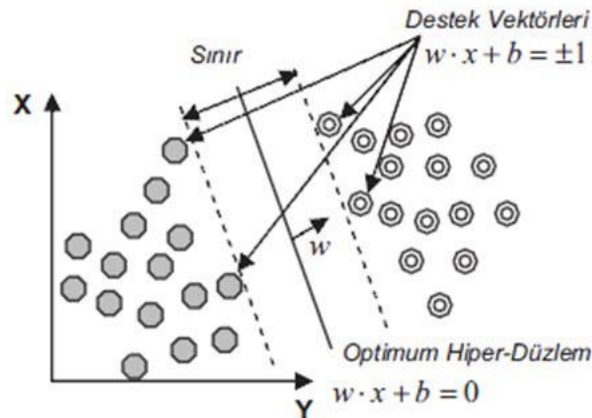


Şekil 3. SVM Genel Yapısı (SVM General Structure) (Deka, 2014)

Şekil 3’de gösterildiği gibi $K(x, x_n)$ değerleri çekirdek fonksiyonunu, $\bar{\alpha}_n$ değerleri Lagrange Çarpanlarını göstermektedirler. Giriş değerleri çekirdek fonksiyonu ile çarpılarak iç çarpımlar oluşturulur, Lagrange Çarpanları ise ağırlıkları oluşturmaktadır. SVM’de bir örneğe ilişkin çıktı değeri, girdilerin iç çarpımları ile Lagrange çarpanlarının bağımsız kombinasyonlarının toplamına eşittir (Ayhan ve Erdoğan, 2014). SVM, kullanılan verilerin ayırt edilme durumuna göre Doğrusal ve Doğrusal Olmayan SVM’ler olarak ikiye ayrılabilir.

3.3.1. Doğrusal SVM (Linear SVM)

Doğrusal SVM sadece ayırt edilebilir doğrusal verilere uygulanabilen en basit SVM modelidir. Eğitim veri kümesi $D = \{(\vec{x}_i, y_i), i = 1 \dots N\}$ olduğu ve N adet elemandan oluştuğu düşünülürse. $y_i \in \{-1, +1\}$, sınıf etiketi $\vec{x}_i \in R^n \in$ ve n boyutlu uzayda herhangi bir örnektir. $f(\vec{x}) = \vec{w}^T \vec{x} + b$ ifadesindeki \vec{w}^T karar fonksiyonun normalini, \vec{x} ifadesi bu doğru üzerinde bulunan noktaları, b ise eğilim değerini göstermektedir. Amaç \vec{w}^T ve b’yi eğitim verileri yardımıyla bulmaktır, sonuç olarak sistemi eğitmektir. Tüm destek vektör makinelerinde amaç Şekil 4’de olduğu gibi verileri iki sınıfa ayırmaktır. Şekil 4’de kesikli çizgiler ile ifade edilen doğrular üzerindeki vektörler destek vektör olarak isimlendirilir ve yumuşak ayırım çizgisi bu vektörler üzerinden geçer. İki yumuşak ayırım çizgisinin ortasındaki doğru ise sert ayırımdır ve $f(\vec{x}) = \vec{w}^T \vec{x} + b = 0$ fonksiyonuyla çizilir (Küçüksille ve Ateş, 2013).



Şekil 4. Doğrusal Sınıflara Ayırma (Classification into Linear Classes) (Küçüksille ve Ateş, 2013)

Şekil 4’de görüleceği üzere $f(\vec{x}) = \vec{w}^T \vec{x} + b \geq 1$ durumu ($y_i = 1$) birinci sınıfı ve $f(\vec{x}) = \vec{w}^T \vec{x} + b \leq -1$ durumu ise ikinci sınıfı ($y_i = -1$) temsil eder (Kaynar vd., 2016).

İki sınır arasındaki uzaklık $\lambda = 2/\vec{w}^2$ formülü ile ifade edilir. Hedef, λ değerini maksimum yapmak olduğundan dolayı $1/\lambda$ ifadesinin minimum olması gerekmektedir. Buna bağlı sınırlama ise $y_i = (w^T x_i + b) - 1 \geq 0, y_i \in \{-1, +1\}$ ’dir. Optimizasyon problemi, verilen bazı kısıtlamalar altında bir fonksiyonun maksimumunu ya da minimumunu bulmaktır. Eşitlik 1’de verilmiş olan ilgili problemin duali, Lagrange denklemleri, Eşitlik 2 ve Eşitlik 3’de verilen “Karush-Kuhn-Tucker (KKT)” in kısıtları yardımıyla çözülür (Kaynar vd., 2016; Küçüksille ve Ateş, 2013).

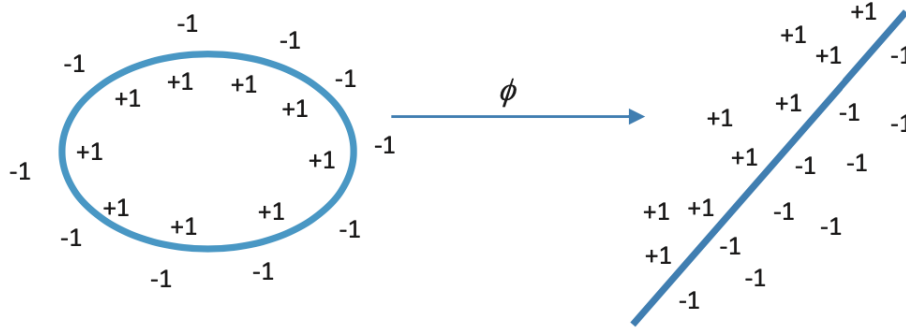
$$L(b, w, a) = \frac{1}{2} w^T w - \sum_{i=1}^N \alpha_i [y_i (w^T x_i + w_0) - 1], \alpha_i \geq 0, \forall_i \quad (1)$$

$$\frac{\partial L}{\partial w_j} = 0, \forall_j \quad (2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial w_n} = 0 \quad (3)$$

3.3.2. Doğrusal Olmayan SVM (Nonlinear SVM)

Doğrusal olarak ayırt edilebilen veri kümelerini ayırabilen fonksiyonlar pratik uygulamalar için oldukça kısıtlıdır. Çünkü pratik uygulamaların çoğunda doğrusal SVM kullanılarak sonuç alınmaz. Bu gibi durumlarda SVM çeşitli dönüşüm işlemleri vasıtasıyla girdi uzayı daha yüksek düzeyli bir uzaya taşıyarak, doğrusal ayırma işlemi gerçekleştirmeye çalışır (Çomak, 2008). Şekil 5'te giriş uzayının özellik uzayına çevrilmesi gösterilmektedir.



Şekil 5. Özellik Uzayında Doğrusal Ayırma (Linear Separation in Property Space) (Deka, 2014)

Girdi uzayının daha yüksek boyutlu uzaya taşınması için genel tanımı $\phi(x)^T \phi(x_i) = K(x_i, x_j)$ olan bir çekirdek fonksiyonu kullanılır. Çekirdek fonksiyonları, SVM algoritmasında önemli bir yere sahiptir. Doğru çekirdek fonksiyonunun seçimi sınıflandırma başarımını doğrudan etkilemektedir. Bu çekirdek fonksiyonlar *Mercer Teoremi* olarak bilinen matematiksel kurama uygun olmalıdır. Bu kural yüksek boyutta çalışılırken çekirdek fonksiyonların her zaman iki girdi vektörünün iç çarpımı şeklinde ifade edilmesini sağlamaktadır. SVM’de literatürde sıklıkla kullanılan çekirdek fonksiyonlarından bazıları Eşitlik 4 de verilmiştir (Köse vd., 2015).

$$K(x_i, x_j) = \begin{cases} \text{Doğrusal: } x_i^T x_j \\ \text{Polinom: } (x_i^T x_j + 1)^d \\ \text{Gauss (RBF): } \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2) \\ \text{Sigomoid: } \tanh(\gamma x_i x_j + C) \end{cases} \quad (4)$$

3.4. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)

Yapay sinir ağları (YSA), beynin görevini yerine getirme şeklini örnek olarak modelleyen bir yapay zekâ yöntemidir. Birbiri ile etkilemiş de ve paralel olarak bağlı nöronlardan oluşan bir yapıdır (Akgöz vd., 2010).

YSA mimarisi giriş, gizli ve çıkış katmanı olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Giriş katmanı dış ortamdan verileri almak için kullanılmakta; çıkış katmanı ise hedef katmanı temsil etmektedir (Saplıoğlu ve Çimen, 2010). Gizli katman, giriş ile çıkış katmanı arasında bulunmaktadır. Gizli katmadaki katman sayısı ve her katmandaki nöron sayısı problemin karmaşıklığına göre değişmektedir.

YSA yönteminde öğrenmenin amacı giriş katmanı ile çıkış katmanı arasındaki en uygun ilişkinin bulunmasını amaçlanmaktadır. Bunun için de nöronlar arasındaki bağlantı ağırlıklarının iyi ayarlanması gerekmektedir (Saplıoğlu ve Çimen, 2010). Başarıyı arttırmak için ileri ve geri yayılım olmak üzere iki şekilde hesaplama yöntemi kullanılmaktadır. İleri yayılımda, giriş değerleri ağırlık katsayıları ile çarpılarak gizli katmana oradan da çıkış katmanına ilerlemektedir. Geri yayılımda ise istenen değer ile elde edilen değer arasındaki farka göre ağırlık katsayıları geriye doğru yayılım yapmaktadır.

3.5. Basit Bayes Yöntemi (Naive Bayes Method)

Bayes Yöntemi 1980’li yıllarda ortaya çıkan ve olasılık kuramını temel alan bir yapay zekâ tekniğidir (Sorias, 2015). Bayes teoreminde değişkenler arasındaki ilişkiler şartlı olasılıklar ortaya koyulmaktadır. Model sonucu

olasılık olarak sunulmaktadır (Nikovski, 2000). Bayes teoremi özellikle eldeki verilerin yetersiz olduğu belirsiz durumlarda çok işe yaramaktadır (Charniak, 1991). Bayes Teoremi:

$$P[A_n | B] = \frac{P[B | A_n] \cdot P[A_n]}{\sum P[B | A_i] \cdot P[A_i]} \quad (5)$$

Burada B bilgi sahibi olunan olayı, A(n) farklı koşullu olayları temsil etmektedir. $P[A | B]$, B olduğunda A'nın olasılığını ifade etmektedir. Başka bir ifade ile B olayı gerçekleştiğinde A olayının oluşma olasılığıdır.

3.6. Lojistik Regresyon (Logistic Regression)

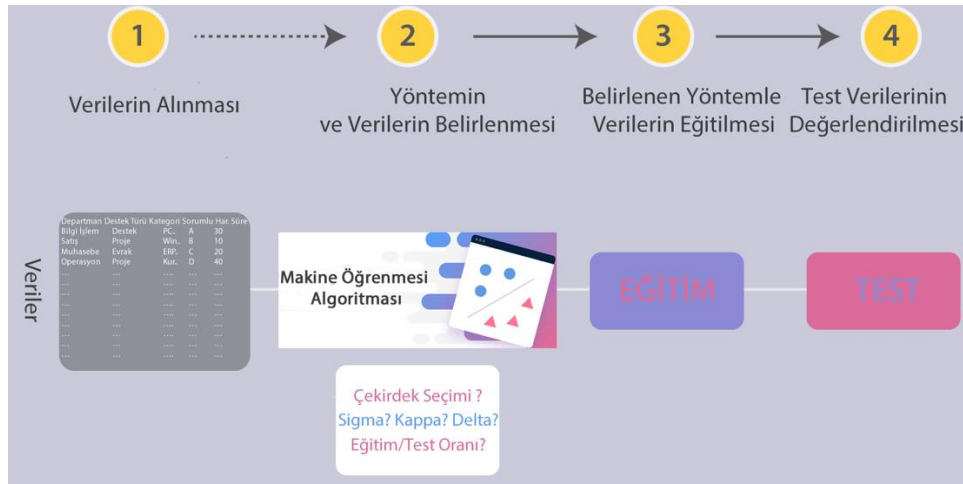
Lojistik regresyonun amacı bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında ilişkiyi tanımlayabilecek bir model kurmaktır (Çokluk, 2010). Lojistik regresyon analizinde, bağımlı değişkenin sonucu en az iki olasılıklı olan değişken olarak kullanılması gerekmektedir (Aziz ve Osman, 2005). Bağımlı değişkenin alabileceği değerlerin 0-1 arasında olmasını sağlamak için bağımsız değişkenler ve bağımlı değişken arasında eğrisel bir ilişki aşağıdaki denklemden gibi ifade edilir (Budak ve Erpolat, 2012):

$$E(y_i) = \rho_i = \frac{1}{1 + \exp(-y_i)} \quad (6)$$

Bu denklem doğrusal olmadığı için β parametrelerini tahmin etmek zor olduğundan denklem doğrusallaştırılarak Logit modeli elde edilir.

$$L_i = \ln\left(\frac{\rho_i}{1-\rho_i}\right) = \beta_0 + \beta_1\chi_1 + \beta_2\chi_2 + \dots + \beta_k k \quad (7)$$

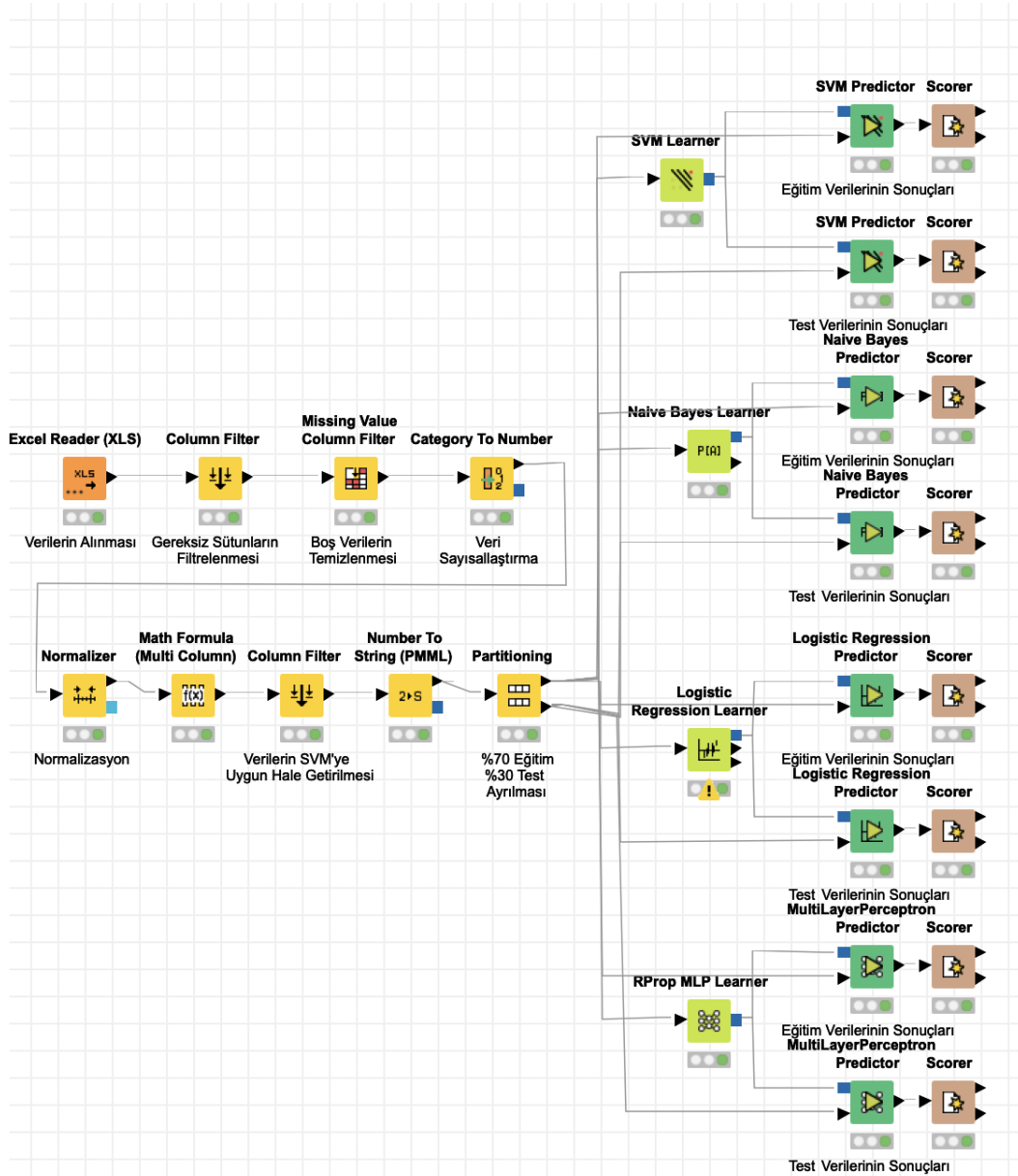
4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)



Şekil 6. Gerçekleştirilen Sistemin Akış Şeması (Flow Chart of the Implemented System)

Gerçekleştirilen çalışmada bir firmanın BT destek departmanına gelen yardım taleplerinin ortalama ne kadar sürede çözüme ulaştırılabileceği konusu ele alınmıştır. Bunun için firmanın belirli bir aralıkta kendisine gelen sorunların özellikleri ve bu sorunların çözüm süreleri alınmıştır. Gerçekleştirilen sistemin akış şeması Şekil 6'da gösterilmiştir.

Öncelikle veriler çalışmanın ikinci bölümünde anlatıldığı şekilde düzenlenmiştir. Düzenlenen verilerin sisteme alınması ile toplamda 2320 adet kayıt çalışmada kullanılmıştır. **Departman, Destek Türü, Kategori ve Sorumlu** alanları Makine Öğrenmesi Algoritmasının giriş vektörlerini, **Harcanan Süre** ise çıkış vektörünü oluşturmaktadır. 2320 adet verinin %70'i olan 1624 adet kayıt eğitim için, geriye kalan %30'u yani 696 adet kayıt test için kullanılmıştır. Eğitim ve Test verilerinin seçimi tamamen rastgele ve sınıflara göre dengeli olarak yapılmıştır. Makine öğrenmesi uygulaması için günümüzde sıklıkla veri biliminde başvurulan Knime paket programı kullanılmıştır. KNIME sistemi, yeni araç entegrasyonlarla kolayca genişletilebilen, güçlü bir veri sistemine sahip açık kaynaklı bir yazılımdır (Fillbrunn vd, 2017). KNIME programını kullanarak kullanıcılar verileri işleyebilir ve program içindeki düğümlerden oluşan iş akışlarını modelleyebilir. Knime güçlü ve sezgisel bir kullanıcı arayüzüne sahiptir; yeni modüllerin veya düğümlerin entegrasyonunu kolaydır (Berthold vd., 2009). KNIME görüntü işleme, yapay zekâ veya veri analizi gibi çeşitli araştırma alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Dietz ve Berthold, 2016; Yu vd., 2016). Gerçekleştirilen sistemin tasarımı ve parametreleri Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Gerçekleştirilen Çalışmanın Knime Uygulaması (Knime Application of the Work Performed)

Gerçekleştirilen Makine Öğrenmesi tabanlı sınıflandırma probleminde sonuçların performansını ölçmek için literatürde sıklıkla kullanılan metriklerden yararlanılmıştır. Bu metrikler sınıflandırma sonucunda ortaya çıkan karşıtlık matrisi (confusion matrix-CM) kullanılarak ortaya çıkartılır. CM tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki benzerlik sayılarının bir tabloda gösterilmesidir. Tabloda bulunan bu değerler True Positives (TP), True Negatives (TN), False Positives (FP) ve False Negatives (FN)'dir. Tablo 1'de standart bir CM gösterilmiştir (Chen vd., 2020).

Tablo 3. Karşıtlık Matrisi (Confusion Matrix) (Çelik ve Aslan, 2019)

		GERÇEK DEĞERLER		TOPLAM (%)
		0	1	
TAHMİN EDİLEN	0	TP	FP	Precision
	1	FN	TN	Negative Predictive Value
TOTAL		Recall, Sensitivity	Specificity	Accuracy

Yapılan testler sonucunda en başarılı sonucu verdiği için gerçekleştirilen çalışmada SVM yönteminde çekirdek fonksiyonu olarak Gauss (RBF), Bayes yönteminden Default Probability değeri 0.0001, Lojistik Regresyon yönteminde Solver Stochastic Average Gradient ve Yapay Sinir Ağlarında 1 gizli katmanda 10 nöron kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan veri seti materyal bölümünde belirtilen makine öğrenmesi yöntemleri ile test edilmiştir. Test

verisi sonuçlarına göre basit (naive) Bayes sınıflandırma başarımı %88.50, lojistik regresyon analizi sınıflandırma başarımı %89.94, yapay sinir ağları sınıflandırma başarımı %91.37 ve Destek Vektör Makineleri (SVM) sınıflandırma başarımı %93.11 olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek test başarısına sahip yöntem Çalışmanın bu aşamasından sonra uygulanan makine öğrenmesi yöntemlerinden en fazla doğruluk oranına sahip olan SVM yöntemi detaylı olarak açıklanmıştır.

Gerçekleştirilen SVM uygulamasında BT departmanına gelen taleplerin ortalama kaç dakikada çözüme ulaşacağı ile ilgili sınıflandırma sonuçları için oluşturulan eğitim verisi Karşıtlık Matrisi Tablo 2 'de verilmiştir. Tabloya göre 1624 kaydın 1621 adedini doğru sınıflandırmış, 3 adedini ise yanlış sınıflandırmıştır. Dolayısıyla eğitim aşaması başarı oranı %99.82'dir.

Tablo 4. SVM Eğitim İşlemi Sonrası Oluşan Karşıtlık Matrisi (Confusion Matrix After SVM Training Process)

GERÇEK TAHMİN (DAKİKA)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90+	BAŞARI (%)
0-10	436	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
10-20	0	482	0	0	0	0	0	0	0	0	100
20-30	0	1	166	0	0	0	0	0	0	0	99,4
30-40	0	0	0	171	0	0	0	0	0	0	100
40-50	0	0	0	0	56	0	0	0	0	0	100
50-60	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	100
60-70	0	0	0	0	0	0	98	0	0	0	100
70-80	0	0	0	0	0	0	2	8	0	0	80
80-90	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	100
90+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	176	100
TOPLAM BAŞARI ORANI											99,82

Eğitimi tamamlanan SVM modelinin testi için daha önce sisteme gösterilmemiş 696 kayıt test için kullanılmıştır. Test sınıflarından 648 adedi doğru sınıflandırılmış, 48 adedi yanlış sınıflandırılmıştır. Dolayısıyla test başarı oranı %93.11 olarak bulunmuştur. Sınıf bazlı başarı oranları ile birlikte tüm bu değerler Tablo 3'de gösterilmiştir. Tabloda kırmızı renkte gösterilen alanlar hatalı sınıflandırmayı belirtmektedir.

Tablo 5. SVM Test İşlemi Sonrası Oluşan Karşıtlık Matrisi (Confusion Matrix After SVM Testing)

GERÇEK TAHMİN (DAKİKA)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90+	BAŞARI (%)
0-10	185	5	0	0	0	0	0	0	0	0	97
10-20	4	202	0	0	0	0	0	0	0	0	98
20-30	0	10	65	2	0	0	0	0	0	0	97
30-40	0	0	2	60	4	0	0	0	0	2	88
40-50	0	0	0	7	8	0	0	0	0	0	53
50-60	0	0	0	0	3	2	0	0	0	1	33
60-70	0	0	0	0	0	0	33	1	0	5	85
70-80	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	50
80-90	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	80
90+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86	100
TOPLAM BAŞARI ORANI											93,11

Eğitim ve test işlemleri sonucunda oluşan zıtlık matrisleri incelendiğinde eğitime giren sınıflardaki verilerin durumunun test sınıflandırma başarısının doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin eğitimde 70-80 dakika aralığında çözülen problem sayısı (10) ve eğitim başarısı(%80) ile test başarısı (%50) tutarlıdır. Dolayısıyla eğitimdeki kayıt sayısı az olan sınıfların kayıtlarına ekleme yapılırsa, sistemin sınıf bazlı başarısı da artacaktır. Bu sebeple gerçekleştirilen sistem %93.11 genel başarı oranı ile bilişim teknolojileri departmanında kullanıcıların taleplerine cevap verme süresini sınıflandırmada oldukça başarılıdır.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Kurumsal şirketlerde bulunan bilişim teknolojileri departmanının temel görevlerinden bir tanesi de şirket çalışanlarının karşılaştıkları teknolojik sorunlara çözümler üretmektir. Belirsiz ve çözüm süresi kestirilemeyen sorunlar iş gücü kaybına neden olacaktır. Ayrıca çalışanlar üzerinde stres yaratmakta ve departmana duyulan güven duygusu zarar görmektedir. Bütün bu sebeplerden ve şirketin hizmet kalitesini arttırmak için kullanıcılara karşılaştıkları sorunlar için ortalama bir bekleme ve çözüm süresi önerilmesi önemlidir.

Bu çalışmada bir şirketteki bilişim teknolojilerine gelen sorunların çözüm süresi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bunun için şirketlerde kullanıcıların sorunlarını bildirmeleri, süreci takip etmeleri ve raporlandırmaları için kullanılan bilgi işlem takip sisteminden elde edilen veriler kullanılmıştır. Kullanıcılardan gelen 2320 talep; departman, destek türü, sorumlu ve kategori olarak kayıt altına alınmıştır.

Makine öğrenme yöntemlerinden Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine -SVM) metodu kullanılarak sorunun çözüm süresi sınıfı en yüksek oranda tahmin edilmiştir. Veri seti eğitim (% 70) ve test (%30) olarak iki ayrılmıştır. Tasarlanan model de eğitim başarısı %99.82, test başarısı ise %93.11 olarak ölçülmüştür. Diğer makine

öğrenmesi yöntemlerinde ise başarı oranları Bayes için %89.14, lojistik regresyon için %89.92, yapay sinir ağları için ise %92.09'dir. Bunun sebebi kategorik verilerde SVM yönteminin daha başarılı sonuçlar çıkartması olarak görülebilir.

Geliştirilen bu sistem sayesinde kullanıcılar BT departmanına sorunları bildirdiklerinde çözüm sürecini öğrenebileceklerdir. Böylece şirketin hizmet kalitesi ve BT departmanına duyulan güven hissi artacaktır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Ahmadi, K., S., 1984. Effects of social influences and waiting on time judgment. *Perceptual and motor skills*, 59(3), 771-776.
- Akgöz, B., Baltacıoğlu, A., Civalek, Ö., ve Korkmaz, K., 2010. Deprem Hasarlarının Hızlı Tespitinde Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 1(1), 22-27.
- Atalay, M., Çelik, E., 2017. Büyük Veri Analizinde Yapay Zekâ Ve Makine Öğrenmesi Uygulamaları-Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Big Data Analysis. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(22), 155-172.
- Ayhan, S., Erdoğan, Ş., 2014. Destek Vektör Makineleriyle Sınıflandırma Problemlerinin Çözümü İçin Çekirdek Fonksiyonu Seçimi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 9(1), 175-201.
- Aziz, A., ve Osman, Ç., 2005. İstatistiksel Analiz Teknikleri "SPSS'te İşletme Yönetimi Uygulamaları". Emek Ofset, İkinci Baskı, Ankara.
- Bardhan, I., Whitaker, J., Mithas, S., 2006. Information Technology, Production Process Outsourcing, and Manufacturing Plant Performance. *Journal of Management Information Systems*, 23(2), 13-40.
- Berthold, M., R., Cebren, N., Dill, F., Gabriel, T., R., Kötter, T., Meinel, T., ve Wiswedel, B., 2009. KNIME-the Konstanz Information Miner: Version 2.0 And Beyond. *ACM SIGKDD explorations Newsletter*, 11(1), 26-31.
- Birgün, S., Öztepe, T., Şimsit, Z., T., 2011. Bir Çağrı Merkezinde Müşteri Şikayetlerinin Düşünce Süreçleri İle Değerlendirilmesi. Paper presented at the XI. Üretim Araştırmalar Sempozyumu.
- Bottou, L., Lin, C., J., 2007. Support Vector Machine Solvers. *Large scale kernel machines*, 3(1), 301-320.
- Budak, H., ve Erpolat, S., 2012. Kredi Riski Tahmininde Yapay Sinir Ağları ve Lojistik Regresyon Analizi Karşılaştırılması. *AJIT-e: Online Academic Journal of Information Technology*, 3(9), 23-30.
- Candan, F., Emir, S., Doğan, M., Kumbasar, T., 2018. Takviyeli Q-Öğrenme Yöntemiyle Labirent Problemi Çözümü Labyrinth Problem Solution with Reinforcement Q-Learning Method. Paper presented at the TOK2018 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Kayseri.
- Charniak, E., 1991. Bayesian networks without tears. *AI magazine*, 12(4), 50-50.
- Chen, W., Li, Y., Xue, W., Shahabi, H., Li, S., Hong, H., Pradhan, B., 2020. Modeling Flood Susceptibility Using Data-Driven Approaches Of Naïve Bayes Tree, Alternating Decision Tree, And Random Forest Methods. *Science of The Total Environment*, 701, 134979.
- Cortes, C., Vapnik, V., 1995. Support-vector Networks. *Machine learning*, 20(3), 273-297.
- Coşkun, C., Baykal, A., 2010. Dicle Üniversitesi Bilgi İşlem Online Talep Takip Sistemi. *Akademik Bilişim*.
- Çelik, Ö., Aslan, A., F., 2019. Gender Prediction from Social Media Comments with Artificial Intelligence. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(6), 1256-1264.
- Çiçek, E., Atılğan, K., Ö., 2012. Hizmet İşletmelerinde Çağrı Merkezi ve Bekleme Hattı Uygulamalarına Tüketici Odaklı Bir Yaklaşım. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 12(23), 81-102.
- Çokluk, Ö., 2010. Lojistik regresyon analizi: Kavram ve uygulama. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri*, 10(3), 1357-1407.
- Çomak, E., 2008. Destek Vektör Makinelerinin Etkin Eğitimi İçin Yeni Yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Deka, P., C., 2014. Support Vector Machine Applications in The Field Of Hydrology: A Review. *Applied soft computing*, 19, 372-386.
- Dietz, C., ve Berthold, M., R., 2016. KNIME For Open-Source Bioimage Analysis: A Tutorial. In *Focus on Bio-Image Informatics* (pp. 179-197). Springer, Cham.
- Fillbrunn, A., Dietz, C., Pfeuffer, J., Rahn, R., Landrum, G. A., ve Berthold, M., R., 2017. KNIME For Reproducible Cross-Domain Analysis Of Life Science Data. *Journal Of Biotechnology*, 261, 149-156.
- Kalaycı, T. E., 2018. Kimlik Hırsız Web Sitelerinin Sınıflandırılması İçin Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(5), 870-878.
- Karakoyun, M., Hacıbeyoğlu, M., 2014. Biyomedikal Veri Kümeleri İle Makine Öğrenmesi Sınıflandırma Algoritmalarının İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 16(48), 30-42.
- Kaynar, O., Görmez, Y., Yıldız, M., Albayrak, A., 2016. Makine öğrenmesi yöntemleri ile Duygu Analizi. Paper presented at the International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP'16).
- Kazan, H., Ergülen, A., Çoruhlu, N., 2012. Banka Çağrı Merkezlerinde Bekleme ve Müşteri İlişkiler Yönetimi: Bir Kamu Bankası Uygulaması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(1), 251-268.
- Keskin, G. A., Çolak, M., Kostak, G., K., 2018. Bir Çağrı Merkezindeki Bekleme Sürelerinin Kuyruk Modelleri İle İyileştirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 55-68.

- Köse, U., Güraksın, G. E., Deperlioğlu, Ö., 2015. Diabetes Determination Via Vortex Optimization Algorithm Based Support Vector Machines. Paper presented at the 2015 Medical Technologies National Conference (TIPTEKNO).
- Küçükşille, E. U., Ateş, N., 2013. Destek Vektör Makineleri ile Yaramaz Elektronik Postaların Filtrelenmesi. Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 6(1).
- Lee, A. H., Chen, W.-C., Chang, C., J., 2008. A Fuzzy AHP and BSC Approach for Evaluating Performance of IT Department in The Manufacturing Industry in Taiwan. Expert Systems with Applications, 34(1), 96-107.
- Maister, D., H., 1985. The Psychology of Waiting Lines. Retrieved from <http://www.busi.mun.ca/jbarnes/b9015/Maister-WaitingLines.pdf>
- Nikovski, D., 2000. Constructing Bayesian networks for medical diagnosis from incomplete and partially correct statistics. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 12(4), 509-516.
- Osuna, E., E., 1985. The Psychological Cost of Waiting. Journal of Mathematical Psychology, 29(1), 82-105.
- Özkaraca, O., Acar, E., Peker, M., Türk, E., 2018. A Fuzzy Logic Based Clinical Decision Support System For Emergency Services. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(3), 375-382.
- Öztürk, Z., K., Güngör, K., ve Lepki, B., 2016. Lojistik Sektöründe Çok Amaçlı Kapı Atama Problemleri İçin Bir Karar Destek Sistemi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 4(1), 21-29.
- Pitt, L. F., Watson, R. T., Kavan, C., B., 1995. Service Quality: A Measure of Information Systems Effectiveness. MIS quarterly, 173-187.
- Saphioğlu, K., ve Çimen, M., 2010. Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Günlük Yağış Miktarının Tahmini. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 1(1), 14-21.
- Sayın, M., 2013. Çağrı Merkezi Gelen Çağrılarındaki Bekleme Süresinin Azaltılması: Akıllı Dış Arama Uygulaması. Akademik Bilişim Konferansı, Antalya.
- Sorias, S., 2015. Psikiyatrik Tanıda Betimsel ve Kategorik Yaklaşımların Kısıtlılıklarını Aşmak: Bayes Ağlarına Dayalı Bir Öneri. Türk Psikiyatri Dergisi, 26(1), 1-12.
- Şahin, Y. ve Supçiller, A., 2015. Tedarikçi Seçimi İçin Bir Karar Destek Sistemi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 3(2), 91-104.
- Thiongane, M., Chan, W., ve l'Ecuyer, P., 2016. New history-based delay predictors for service systems. Winter Simulation Conference (WSC16), pp. 425-436.
- Tian, J., Wang, K., Chen, Y., Johansson, B., 2010. From IT Deployment Capabilities to Competitive Advantage: An Exploratory Study in China. Information Systems Frontiers, 12(3), 239-255.
- Yaslı, F., ve Güvensan, M., A., 2019. Ulaşım Türü Tanımadaki Enerji Kısıtlı Cihazlar İçin Ayırt Edici Özellikler. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(1), 90-102.
- Yu, S., Zhao, D., Chen, W., ve Hou, H., 2016. Oil-Immersion Power Transformer Internal Fault Diagnosis Research Based On Probabilistic Neural Network. Procedia Computer Science, 83, 1327-1331.
- Wu, J.-H., ve Wang, Y., M., 2006. Measuring KMS success: A respecification of the DeLone and McLean's model. Information ve Management, 43(6), 728-73



TÜRKİYE ERKEKLER BASKETBOL LİĞİ MAÇ SONUÇLARININ MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİ İLE TAHMİNİ

Engin ÖZDEMİR, Serkan BALLI*

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Muğla, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Türkiye Basketbol Ligi, Dört Faktör, Makine Öğrenmesi, Tahmin.</i>	Basketbol maçları dünyada en çok izlenen spor aktivitelerinden birisidir. Bu popülerlik sonucunda basketbol sporunda bilgi teknolojileri sık sık kullanılmaktadır. İstatistik ve veri depolama sistemlerinin gelişmesiyle maç istatistikleri, oyuncu özellikleri gibi parametreler artık çok kolay saklanabilmektedir. Müsabaka sonucu tahmini insanlara müsabaka öncesi bilgi vermesi açısından önemlidir. Müsabaka sonucu tahmini ile ilgili olarak Amerikan basketbol ligleri üzerine çalışmalar mevcut iken Avrupa basketbolu ligleri üzerine çalışmaların sayısı azdır. Literatürde bir ilk olarak bu çalışmada, müsabaka sonucu tahmini için Türkiye Erkekler Basketbol Süper Ligi maçları Dört Faktör ve DefansOfans modeli ile makine öğrenmesi yöntemleri beraber kullanılarak ele alınmıştır. Buna göre 2017-2018 tarihlerinde oynanan maçlar veri seti olarak kullanılmış ve Dört Faktör modeli ile birlikte incelenmiştir. Popüler makine öğrenmesi yöntemleri olan kNN, Lojistik Regresyon, Çok Katmanlı Algılayıcı, Naive Bayes, j48 ve Oylama ile kullanılmış ve çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak %96,55'lik tahmin başarıları yakalanmıştır.

PREDICTION OF TURKISH MEN'S BASKETBALL SUPER LEAGUE GAME RESULTS WITH MACHINE LEARNING METHODS

Keywords	Abstract
<i>Turkish Basketball League, Four Factors, Machine Learning, Prediction.</i>	Basketball competitions are one of the most watched sports activities in the world. As a result of this popularity, information technologies are frequently used in basketball. With the development of statistics and data storage systems, parameters such as match statistics, player properties can now be stored very easily. The prediction of the competition result is important in that it provides information to people before the competition. While there are studies on American basketball leagues in this topic, there are few studies on European basketball leagues. As a first in the literature in this study, results of competitions for Turkish Men's Basketball Super League game prediction were examined by using Four Factor model, DefenseOfense model and machine learning methods together. Accordingly, the matches played between 2017-2018 were used as data set and examined together with the Four Factor model. Popular machine learning methods; kNN, Logistic Regression, Multilayer Perceptron, Naive Bayes, j48 and Voting were used and the results were evaluated. As a result, 96.55% predicted success was achieved.

Alıntı / Cite

Özdemir, E., Ballı, S., (2020). Türkiye Erkekler Basketbol Ligi Maç Sonuçlarının Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Tahmini, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 740-752.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
E. Özdemir, 0000-0002-6740-8444	Başvuru Tarihi / Submission Date	19.04.2020
S. Ballı, 0000-0002-4825-139X	Revizyon Tarihi / Revision Date	02.07.2020
	Kabul Tarihi / Accepted Date	14.07.2020
	Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

* İlgili yazar / Corresponding author: serkan@mu.edu.tr , +90-252-211-3106

1. Giriş (Introduction)

Spor müsabakaları günümüzde insanlar tarafından rağbet edilen en popüler hobi türlerinin başında yer almaktadır. Basketbol bu müsabakalardan birisidir. Spor yöneticileri makine öğrenmesi yöntemlerini oyuncu seçiminde, performans değerlendirmesi ve hatta sonuç tahmininde, spor meraklıları ise spor bahislerinde kullanmaktadır (Horvat vd., 2018).

İnternet üzerinde geçmiş maçlara dair sonuçlara ve istatistiklere ulaşmak diğer birçok alana göre çok daha kolaydır. Bu sebeple spor maçlarının sonucunun tahmin edilmesi geçmiş çalışmaların birçoğuna ilham vermiştir. Geçmiş çalışmaların çoğu futbol ve basketbol maçları üzerine olsa da, buz hokeyi, Amerikan futbolu, tenis gibi diğer spor dalları için de çalışmalar bulunmaktadır (Karaoğlu, 2015).

Peki, takımlar basketbol maçlarını nasıl kazanır, istatistiklerin kazanmaya etkisi nedir gibi sorulara cevap arayan Dean Oliver, Basketbol Başarısının Dört Faktörünü tanımlamıştır (Oliver, 2004). Bu tanıma göre şutların kazanmaya etkisi %40, top kayıplarının %25, ribauntların %20 ve serbest atışların ise %15'dir. Bu faktörler savunma ve hücum anındaki farkları, takımın kazanmasında belirleyici faktörleri oluşturmaktadır (Çiçekli vd., 2012). Kısacası sadece çok sayı atarak bir maçın kazanılamayacağını, diğer faktörlerin de maç kazanmaya etkisi olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda bu faktörler hem hücum hem de defansif olarak ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

Basketbol maç sonuçları tahmini ile ilgili olarak Amerikan basketbol ligleri üzerine çalışmalar mevcut iken Avrupa basketbolu ligleri üzerine yapılan çalışmaların sayısı azdır. Bu çalışmada bir ilk olarak Türkiye Erkekler Basketbol Süper Ligi maçları tahmin edilmiştir. Tahmin için DefansOfans modeli ve Dört Faktör modeli ile birlikte analiz edilmiştir. Amerikan basketbol ligleri üzerine Dört Faktör çalışmaları bulunurken ve hatta NBA resmi sitesinde bu konuda istatistiksel bilgiler yer alırken, Avrupa basketbolu ligleri üzerine Dört Faktör modeli kullanılarak bir tahmin çalışması daha önce yapılmamıştır. Horvat vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada kullanılan DefansOfans modeli Euroleague veri seti üzerinde en çok başarı getiren model olmuştur. Bunun yanı sıra yeni melez modeller de eklenerek model sayısı arttırılmıştır ve maç istatistikleri üzerinden daha birçok model ile tahmin edilebileceği gösterilmiştir. Tahmin için kNN, Lojistik Regresyon, Çok Katmanlı Algılayıcı, Naive Bayes, j48 ve Oylama gibi makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde spor müsabakalarının sonucunu tahmin etmek için yürütülen geçmiş çalışmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde bu çalışmada kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları anlatılmıştır. Dördüncü bölümde elde edilen veri kümesi, veri kümesinin Dört Faktör ve DefansOfans modelleri üzerinde uygulanması sonucu elde edilen modeller ve algoritmalar ile tahmin edilmesi yer almaktadır. Beşinci bölümde tartışmalar sunulmuştur. Altıncı bölümde ise elde edilen sonuçlara değinilmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Tablo 1'de basketbol tahminleri için geçmiş çalışmalara ait veri setleri, veri sayısı, en başarılı algoritma ve başarı oranı bilgileri gösterilmiştir.

Horvat vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, Euroleague 2012-2013 ve 2016-2017 sezonları arasındaki müsabaka sonuçları kNN metoduyla tahmin edilmeye çalışılmıştır. %84 oranında başarı yakalamışlardır. Çiçekli vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye Erkekler Basketbol Süper Ligi 2010-2011 sezonu maçları Dört Faktör modeli ile incelenmiştir fakat tahmin yapılmamıştır. Zimmermann vd. (2013) yaptığı çalışmada, NCAA Ligi 2011-2012 sezonu maçlarını Ağırlıklı Dört Faktör metodu ile modelleyerek Yapay Sinir Ağları ile eğitmiş ve sonuçları %73 oranında doğru tahmin etmişlerdir. Zimmermann'ın (2016) yaptığı çalışmada, NBA Ligi 2014-2015 sezonunu Ağırlıklı Dört Faktör metodu ile modelleyerek birçok sınıflandırma metodu kullanarak sonuçları tahmin etmiştir. En etkili yöntemin Naive Bayes olduğu kararına varmıştır ve %65'lik başarı oranı yakalamıştır. Ozmen'in (2016) sunduğu çalışmada, Euroleague'in 14 sezonunu değerlendirerek her bir istatistiğin basketbol maçının kazanılmasındaki katkısını Probit Dağılımı yöntemi ile belirlemeye çalışmıştır. Erilli vd. (2013) yaptığı çalışmada, Euroleague 2011-2012 sezonu maçlarının skor tahminlerini Poisson Dağılımı ile bulmaya çalışmışlardır ve %73 oranında başarı sağlamışlardır. Cao (2012) sunduğu çalışmada, NBA Ligi 2005-2006 sezonu ile 2010-2011 sezonu arasındaki maçları sınıflandırma algoritmaları kullanarak tahmin etmeye çalışmıştır. En verimli yöntemin %69,67 başarı oranı ile Lojistik Dağılım olduğu sonucu çıkmıştır. Miljković vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, NBA Ligi 2009-2010 sezonu maçlarını Naive Bayes ve Lineer Dağılım ile sınıflandırmış ve sonuçları karşılaştırmışlardır. En etkili yöntemin Naive Bayes olduğu kararına varmıştır ve %67'lik başarı oranı yakalamıştır. Harmandeep ve Sushma (2017) tarafından yapılan çalışmada, NBA Ligi 2015-2016 sezonu maçlarını Destek Vektör Makinaları ve Bulanık Hibrit Destek Vektör Makinaları ile tahmin etmiştir. En verimli yöntemin %88,26 başarı oranı ile birlikte Destek Vektör Makinaları olduğu ortaya çıkmıştır. Ayyıldız (2018) sunduğu çalışmada, NBA Ligi 2015-2016

sezonu maçları Yapay Sinir Ağları ile eğitmiş ve sonuçları %90 oranında doğru tahmin etmiştir. Torres (2013) tarafından yapılan çalışmada, NBA Ligi 2005-2006 sezonu ile 2012-2013 sezonu arasındaki karşılaşmalar çeşitli makine öğrenmesi yöntemleriyle tahmin edilmeye çalışılmıştır. En iyi yöntemin %68,44 başarı oranı ile birlikte Çok Katmanlı Algılayıcı ile belirlendiği ortaya çıkmıştır. Thabtah vd. (2019) tarafından sunulan çalışmada, NBA Ligi Finallerini içeren 1980 yılından başlayan 2017'e kadar süren maçlar çeşitli modeller kullanılarak, özellik seçimi yardımıyla tahmin edilmeye çalışılmıştır. En başarılı yöntem Lojistik Model Ağacı algoritması ile %83 oranındadır. Caliwag vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, NBA Ligi 2015-2016 sezonu maçları Dört Faktör analizi ile birlikte çeşitli makine öğrenmesi yöntemleriyle tahmin edilmeye çalışılmıştır. En başarılı sonuç olan %70'e Kademeli Algoritma yardımıyla ulaşılmıştır.

Bu çalışmada ise Türkiye Erkekler Basketbol Süper Ligi 2017-2018 sezonu maçları çeşitli makine öğrenmesi yöntemleriyle tahmin edilmeye çalışılmış olup, en iyi sonucun %96,55 başarı oranı ile birlikte Lojistik Regresyon olduğu ortaya çıkmıştır.

Tablo 1. Geçmiş Çalışmaların Listesi (List of Previous Studies)

Yazar	Yıl	Veri Sayısı	Veri Kümesi	Algoritma	Başarı Oranı
Horvat vd.	2018	-	EuroLeague 2012-13 ile 2016-17 arası	kNN	%83,96
Zimmermann vd.	2013	21373 - Eğitim 5399 - Test	NCAA 2011-12	Yapay Sinir Ağları	%73,11
Zimmermann	2016	-	NBA 2014-15	Naive Bayes	%65,90
Ozmen	2016	3000'den fazla maç	EuroLeague 2000-01 ile 2013-14 arası	Probit Regresyon	-
Erilli vd.	2013	186 maç	EuroLeague 2011-12	Poisson Regresyon	%73,00
Cao	2012	-	NBA 2005-06 ile 2010-11 arası	Lojistik Dağılım	%69,67
Miljković vd.	2010	778 maç	NBA 2009-10	Naive Bayes	%67
Harmandeep	2017	-	NBA 2015-16	Destek Vektör Makineleri	%88,26
Ayyıldız	2018	396 - Eğitim 200 - Test	NBA 2015-16	Yapay Sinir Ağları	%90
Torres	2013	-	NBA 2005-06 ile 2012-13 arası	Çok Katmanlı Algılayıcı	%68,44
Thabtah vd.	2019	-	NBA Finalleri 1980 ile 2017 arası	Lojistik Model Ağacı	%83
Caliwag vd.	2018	-	NBA 2005-06	Kademeli Algoritma	%70
Bu Çalışma		260 maç	TBL 2017-2018	Lojistik Regresyon	%96,55

3. Makine Öğrenmesi Yöntemleri (Machine Learning Methods)

Spor maçları sonuçlarının tahmini için makine öğrenmesi yöntemlerine başvurulmaktadır. Bu çalışmada kullanılan makine öğrenmesi yöntemleri alt bölümlerde açıklanmıştır.

3.1. k En Yakın Komşu (k Nearest Neighbor)

kNN algoritması gözetimli öğrenme algoritmalarındandır. Aynı zamanda hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde kullanılmaktadır. Sınıflandırılacak olan yeni örnek için eğitim setinden en yakın mesafedeki k adet veriye bakılır ve bu k örnek çoğunluk olarak hangi sınıftan mevcut ise yeni örnek de o sınıfa dâhil edilir (Sağbaşı ve Ballı, 2016). Hesaplama yöntemleri arasında Öklid, Manhattan ve Minkowsky formülleri bulunur. En çok tercih edilen Eşitlik (1)'de verilen Öklid formülüdür. Bu çalışmada Öklid uzaklık ölçütü kullanılmıştır.

$$d = \sqrt{\sum_i^n (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

d : İki nokta arasındaki doğrusal uzaklık

x : X noktası

y : Y Noktası

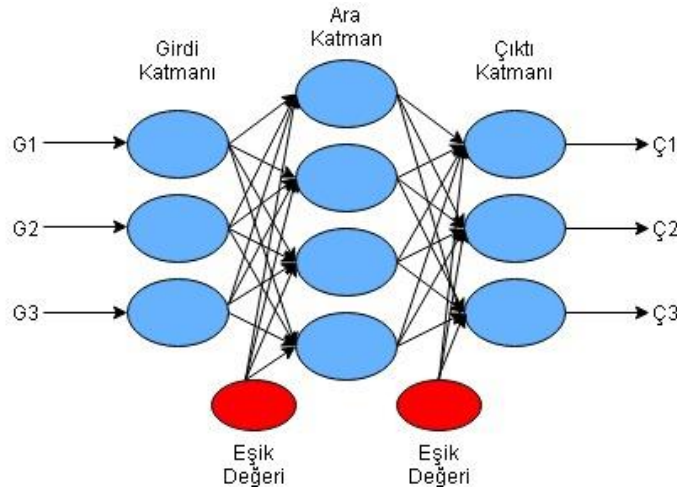
i : Boyut sayısı

3.2. Lojistik Regresyon (Logistic Regression)

Lojistik Regresyon, yalnızca ikili bir sınıflandırma problemini çözmeye yarayan bir regresyon analizidir. Lineer Regresyon modelinin gelişmiş hali olarak kategorik değişkenlerin sonuçlarını tahmin etmek için kullanılabilir. Yani bağımsız değişkenleri verilen, kategorik dağıtılan bağımlı değişkenlerin farklı olası sonuçlarını tahmin etmek için kullanılan modeldir (Sağbaş ve Ballı, 2016). Lineer Regresyon modelinde bağımlı ve bağımsız değişkenler sayısal olarak ifade edilmektedir. Örneğin bu çalışmada kullanılan modellerde ev sahibi takım maçı kazandı mı sorusuna cevap aranmaktadır. Sınıf ise ikili olarak 0 ve 1 olarak tutulmaktadır. Dolayısıyla test verilerinin sonuçları da iki sınıftan birisine dâhil olacaktır.

3.3. Çok Katmanlı Algılayıcı (Multilayer Perceptron)

Tek Katmanlı Algılayıcı, doğrusal olarak sınıflandırılmayan problemleri çözememektedir. Bu probleme çözüm üretmek için yapılan çalışmalar sonucunda Çok Katmanlı Algılayıcı modeli ortaya çıkmıştır. Geriye yayımlı çok katmanlı ağ yapısı içermektedir. Tek Katmanlı Algılayıcı modelinden farklı olarak ara katman içermektedir. Bu ara katman yardımıyla giriş katmanından gelen veriler çıktı katmanına gönderilmeden önce probleme göre uyarlanarak değiştirilebilir ve sistemin daha iyi karar vermesi sağlanır (Torres, 2013). Şekil 1'de örnek çok katmanlı algılayıcı modeli gösterilmiştir.



Şekil 1. Çok Katmanlı Algılayıcı Modelinin Yapısı (Structure of Multi Layer Perceptron Model)

3.4. Naive Bayes (Naive Bayes)

Adını İngiliz matematikçi Thomas Bayes'ten alan bu sınıflandırma algoritması temel olarak Bayes teoremini içermektedir ve olasılık hesabına dayanmaktadır. Test verisi üzerinden öğrenme işlemini gerçekleştirir ve en yüksek orandaki örneğini sınıfa dâhil eder (Sağbaş ve Ballı, 2017; Ballı ve Karasoy, 2019). Eşitlik (2)'de Bayes formülü verilmiştir.

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \times P(A)}{P(B)} \quad (2)$$

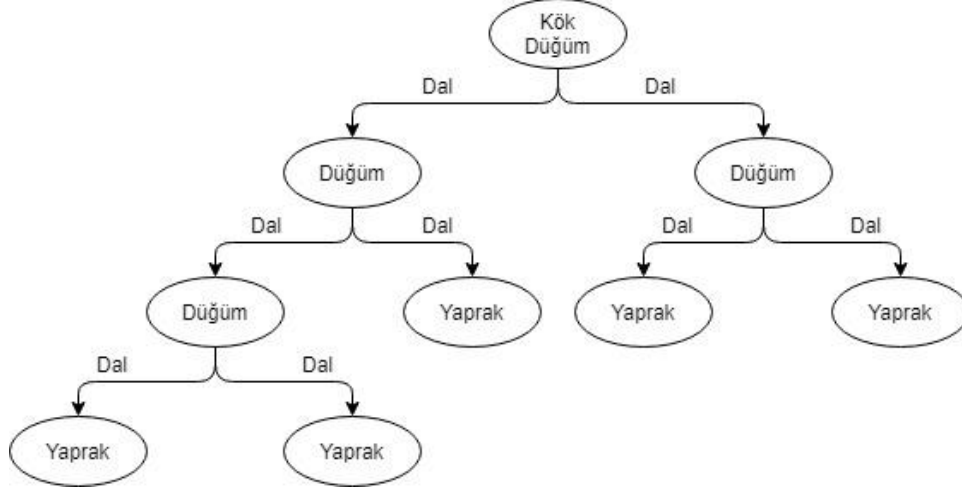
$P(A|B)$: B olayı gerçekleştiği durumda A olayının meydana gelme olasılığı

$P(B|A)$: A olayı gerçekleştiği durumda B olayının meydana gelme olasılığı

$P(A)$ ve $P(B)$: A ve B olaylarının önsel olasılıklarıdır.

3.5. j48 Yöntemi (j48 Method)

C4.5 olarak da bilinir. Sınıflandırma problemleri için en çok kullanılan karar ağacı algoritmalarından birisidir. ID3 algoritmasının eksikliklerini gidermek amacıyla geliştirilmiştir. ID3 algoritması sadece kategorik verilerle çalışırken, j48 algoritmasında sayısal verilerle çalışabilmektedir (Özkan ve Erol, 2015). Entropi hesabına dayanmaktadır (Sağbaşı vd., 2020). Şekil 2’de örnek bir karar ağacı yapısı gösterilmiştir.

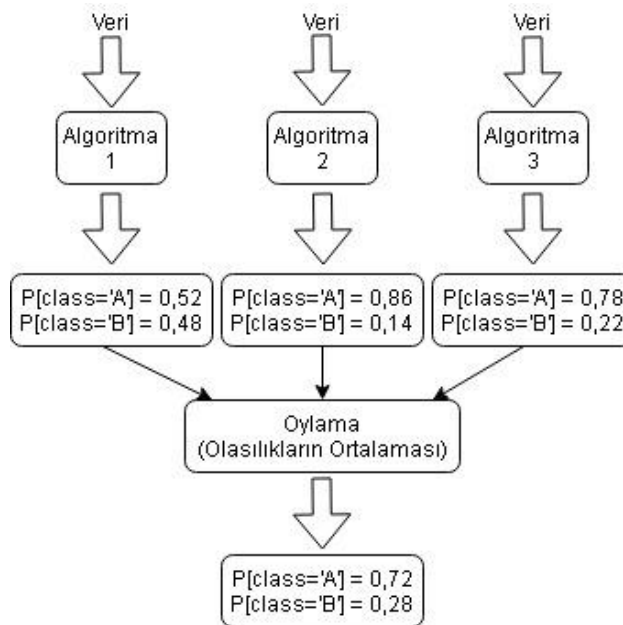


Şekil 2. Karar Ağacı Yapısı (Structure of Decision Tree)

3.6. Oylama (Voting)

Voting algoritması olarak da bilinir. Çoklu sınıflandırma yöntemlerinden birisidir. Bu çalışmada kullanılan diğer algoritmalar tekli sınıflandırma yöntemleri arasındadır. Birden çok tekli sınıflandırmayı tek bir karar doğrultusunda birleştirir ve tek bir sonuca bağlar. Altı adet karar bulunmaktadır (Nanğır, 2013). Bu çalışmada Olasılıkların Ortalaması kararı kullanılmıştır. Her bir tekli sınıflandırıcıya ait sonuçlar olumlu ve olumsuz olarak ikiye ayrılmaktadır. Her bir sonucun kendi arasında ortalaması alınarak sistemin genel kararını ortaya çıkarmaktadır. Şekil 3’de olasılıkların ortalaması kararına ait örnek bir çalışma sunulmuştur.

- Çoğunluk Oylaması (Majority Voting)
- Olasılıkların Ortalaması (Average of Probabilities)
- Olasılıkların Çarpımı (Product of Probabilities)
- En Yüksek Olasılık (Maximum Probability)
- En Düşük Olasılık (Minimum Probability)
- Ortanca (Median)



Şekil 3. Olasılıkların Ortalaması (Average of Probabilities)

3.7. Değerlendirme Ölçütleri (Evaluation Metrics)

Sınıflandırma algoritmaları ile yapılan tahminlerde doğruluk oranının yanında değerlendirmek için başka ölçütler de kullanılmaktadır. Şekil 4'de sınıflandırma işlemlerinde gerçekleşen ve tahmin edilen değerleri gösteren Karmaşıklık Matrisine yer verilmiştir (Celik vd., 2020). Doğru Pozitif (DP) ve Doğru Negatif (DN) alanları tahmini doğru gerçekleşen, Yanlış Pozitif (YP) ve Yanlış Negatif (YN) alanları ise tahmini yanlış gerçekleşen bölümlerdir (Işık ve Işık, 2020).

GERÇEKLEŞEN		TAHMİN EDİLEN	
Doğru	Yanlış	Doğru	Yanlış
Doğru Pozitif	Yanlış Pozitif	Doğru	Yanlış
Yanlış Negatif	Doğru Negatif	Doğru	Yanlış

Şekil 4. Karmaşıklık Matrisi (Confusion Matrix)

Doğruluk (Accuracy), tahmin işlemi doğru gerçekleşen değerlerin tüm değerlere bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Eşitlik (3)'te formülüne yer verilmiştir.

$$Accuracy = \frac{DP + DN}{DP + DN + YP + YN} \quad (3)$$

Kesinlik (Precision), tahmin işlemi doğru olarak gerçekleşen değerlerden kaç tanesinin doğru olduğunu bize söylemektedir. Sınıflandırma işlemleri sonuçlarında bu değer yüksek çıkması beklenmektedir. Eşitlik (4)'te formülüne yer verilmiştir.

$$Precision = \frac{DP}{DP + YP} \quad (4)$$

Duyarlılık (Recall), doğru sınıflandırılmış olan pozitif değerlerin toplam pozitiflere bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Eşitlik (5)'te formülüne yer verilmiştir.

$$Recall = \frac{DP}{DP + YN} \quad (5)$$

F ölçütü (F-measure), Kesinlik (Precision) ve Duyarlılık (Recall) değerlerinin harmonik ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Eşitlik (6)'da formülüne yer verilmiştir.

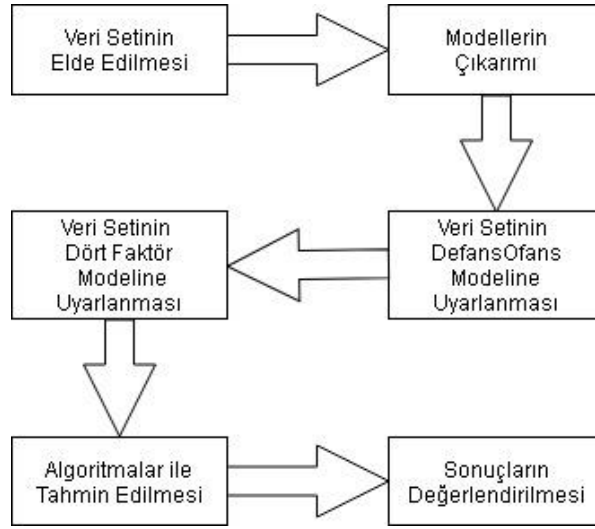
$$F - measure = \frac{2 * Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (6)$$

RMSE (Root Mean Square Error - Ortalama Hata Kareleri Kökü), tahmin verileri ile gerçek veriler arasındaki uzaklık hesabına dayanmaktadır. Eşitlik (7)'de formülüne yer verilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}} \quad (7)$$

4. Veri Kümesinin Modellenmesi ve Algoritmalar ile Tahmin Edilmesi (Modeling of the Data Set and Prediction with Algorithms)

Yapılan çalışmada maç sonuçlarının doğru tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için yapılan işlemler Şekil 5'de gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan veri kümesi, veri dönüşümleri, makine öğrenmesi yöntemleri alt bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 5. Yapılan Çalışmanın Temel Akış Şeması (Basic Flow Chart of the Study)

4.1. Veri Kümesi (Dataset)

Bu çalışmada veri kümesi olarak Türkiye Erkekler Basketbol Süper Ligi 2017-2018 sezonu maçları kullanılmıştır. www.tblstat.net adlı web sitesinden maç istatistiklerini alabilmek için Android tabanlı bir uygulama yazılmıştır. Uygulama aracılığı ile alınan maç istatistikleri veritabanına kaydedilmiştir.

Ev sahibi ve deplasman takım için istatistikler ayrı ayrı tutulmuştur. Home, ev sahibini; Away, deplasman takımını ifade eder. Ev sahibinin attığı sayı ile deplasman takımının attığı sayı karşılaştırılır ve buna göre home_win değişkeni 0 veya 1 olarak kaydedilir. Toplamda 260 adet maç değerlendirmeye alınmıştır ve sonuçları makine öğrenmesi teknikleriyle tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen istatistiksel veriler ve açıklamaları Tablo 2’de verilmiştir:

Tablo 2. Veri Tabanında Bulunan İstatistikler ve Açıklamaları (Statistics and Descriptions in the Database)

Kısa Adı	Açıklama
2FGM (Field Goal Made)	2 sayılık isabet
2FGA (Field Goal Attempt)	2 sayılık deneme
3FGM (Field Goal Made)	3 sayılık isabet
3FGA (Field Goal Attempt)	3 sayılık deneme
FTM (Free Throw Goal Made)	Serbest atış isabeti
FTA (Free Throw Goal Attempt)	Serbest atış deneme
DReb	Defansif ribaunt
OReb	Ofansif ribaunt
Assists	Asist
Steals	Top çalma
Turnovers	Top kaybı

4.2. Veri Dönüşümleri (Data Transformations)

Elde edilen veri seti üzerinden tahmin yapabilmek için model dönüşümlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bunun için DefansOfans ve Dört Faktör modelleri baz alınmıştır. Bunlardan oluşan melez modellerle birlikte 8 adet model üretilmiştir ve maç sonuçları tahmin edilmeye çalışılmıştır.

4.2.1. DefansOfans Modeli (DefenseOfense Model)

Horvat vd. tarafından (2018) yayınlanan makalede DefansOfans (DefenseOfense) olarak isimlendirdiği modelinde temel basketbol istatistiklerini kullanmıştır. Ev sahibi ve deplasman takımı istatistikleri üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak bu çalışmada, veri setleri içerisinde blok ve faul verilerine ulaşamadığı için model üzerinde bu veriler kullanılmamıştır. Sonuç olarak, tüm istatistikler i_offence ve i_defence adında iki parametreye indirgenmiştir.

Orijinal Model için hesaplama işlemleri Tablo 3’de gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan model parametreleri ve hesaplama işlemleri Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 3. DefansOfans Orijinal Modeli Hesaplama İşlemleri (Calculation Procedures of DefenseOffense Original Model)

İsim	Hesaplama Yöntemi
home_i_offence	home_2FGM+home_3FGM+home_FTM-(home_2FGA-home_2FGM+home_3FGA-home_3FGM+home_FTA-home_FTM)+ home_OReb+home_Assists+home_Fouls_Rv-home_Turnovers-home_Blocks_Ag
home_i_defence	(away_2FGM+away_3FGM+away_FTM)+(away_2FGA-away_2FGM+away_3FGA-away_3FGM+away_FTA-away_FTM)+home_DReb+home_Steals+ home_Blocks_Fv-away_OReb-home_Fouls_Com

Tablo 4. DefansOfans Modeli Yapısı (Structure of DefenseOffense Model)

İsim	Hesaplama Yöntemi	Tipi
home_i_offence	home_2FGM+home_3FGM+home_FTM- (home_2FGA-home_2FGM+home_3FGA-home_3FGM+home_FTA-home_FTM)+home_OReb+home_Assists-home_Turnovers	Özellik
home_i_defence	-(away_2FGM+away_3FGM+ away_FTM)+(away_2FGA-away_2FGM+away_3FGA-away_3FGM+away_FTA-away_FTM)+home_DReb+home_Steals-away_OReb	Özellik
home_win	Ev sahibi takım kazandı mı? (0,1)	Sınıf

4.2.2. Dört Faktör Modeli (Four Factors Model)

Takımların basketbol maçlarını kazanmasının etkisini istatistikler üzerinden bulmaya çalışan Dean Oliver, Basketbol Başarısının Dört Faktörünü tanımlamıştır (Oliver, 2004). Bu tanıma göre şutların kazanmaya etkisi %40, top kayıplarının %25, ribauntların %20 ve serbest atışların %15’dir. Aynı zamanda bu temel değerler hem hücum hem de defansif olarak ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Tüm istatistikler sonuç olarak offence_rating ve defence_rating adında iki parametreye indirgenmiştir. Dört Faktör hesaplama işlemleri Tablo 5 ve Tablo 6’da belirtilmiştir.

1. Effective Field Goal Percentage: Etkin Alan Sayısı yüzdesi olarak bilinir. Serbest atışlar dahil edilmez. Kazanmaya etkisi %40 olarak görülmektedir. Eşitlik (8)’de hesaplama işlemi belirtilmiştir.

$$efgp = \frac{FGM + 0.5 \times (3FGM)}{FGA} \quad (8)$$

2. Turnover Percentage: Top Kaybı yüzdesi olarak geçmektedir. Kazanmaya etkisi %25 olarak görülmektedir. Eşitlik (9)’da hesaplama işlemi belirtilmiştir.

$$tp = \frac{Turnovers}{0.96 \times (FGA - OReb - Turnovers + (0.475 \times FTA))} \quad (9)$$

3. Offensive Rebound Percentage: Ofansif Ribaunt yüzdesi olarak geçmektedir. Kazanmaya etkisi %20 olarak görülmektedir. Eşitlik (10)’da hesaplama işlemi belirtilmiştir.

$$orp = \frac{OReb}{OReb + DReb_{Rakip}} \quad (10)$$

4. Free Throw Rating: Serbest Atış yüzdesi olarak geçmektedir. Kazanmaya etkisi %15 olarak görülmektedir. Eşitlik (11)’de hesaplama işlemi belirtilmiştir.

$$ftr = \frac{FTA}{FGA} \quad (11)$$

Tablo 5. Dört Faktör Hesaplama İşlemleri (Calculation Operations of Four Factors)

İsim	Hesaplama Yöntemi
home_offence_efgp	$(\text{home_2FGM} + \text{home_3FGM} + (0.5 * \text{home_3FGM})) / (\text{home_2FGA} + \text{home_3FGA})$
home_offence_tp	$\text{home_Turnovers} / (\text{home_2FGA} + \text{home_3FGA} + (0.44 * \text{home_FTA}) - \text{home_OReb} + \text{home_Turnovers})$
home_offence_orp	$(\text{home_OReb}) / (\text{home_OReb} + \text{away_DReb})$
home_offence_ftr	$(\text{home_FTA}) / (\text{home_2FGA} + \text{home_3FGA})$
home_defence_efgp	$(\text{away_2FGM} + \text{away_3FGM} + (0.5 * \text{away_3FGM})) / (\text{away_2FGA} + \text{away_3FGA})$
home_defence_tp	$\text{away_Turnovers} / (\text{away_2FGA} + \text{away_3FGA} + (0.44 * \text{away_FTA}) - \text{away_OReb} + \text{away_Turnovers})$
home_defence_orp	$(\text{away_OReb}) / (\text{away_OReb} + \text{home_DReb})$
home_defence_ftr	$(\text{away_FTA}) / (\text{away_2FGA} + \text{away_3FGA})$

Tablo 6. Dört Faktör Modeli Yapısı (Structure of Four Factors Model)

İsim	Hesaplama Yöntemi	Tipi
home_offence_rating	$(0.4 * \text{home_offence_efgp}) + (0.25 * \text{home_offence_tp}) + (0.2 * \text{home_offence_orp}) + (0.15 * \text{home_offence_ftr})$	Özellik
home_defence_rating	$(0.4 * \text{home_defence_efgp}) + (0.25 * \text{home_defence_tp}) + (0.2 * \text{home_defence_orp}) + (0.15 * \text{home_defence_ftr})$	Özellik
home_win	Ev sahibi takım kazandı mı? (0,1)	Sınıf

4.2.3. DefansOfans Detaylı Modeli (DefenseOfense Detailed Model)

DefansOfans modelini oluşturan 12 adet özellikten oluşmaktadır. Tablo 7’de bu özellikler ve açıklamaları gösterilmiştir.

Tablo 7. DefansOfans Detaylı Modeli Yapısı (Structure of DefenseOfense Detailed Model)

İsim	Açıklama	Tipi
home_2FGM	Ev sahibi takımın 2 sayılık isabeti	Özellik
home_2FGA	Ev sahibi takımın 2 sayılık denemesi	Özellik
home_3FGM	Ev sahibi takımın 3 sayılık isabeti	Özellik
home_3FGA	Ev sahibi takımın 3 sayılık denemesi	Özellik
home_FTM	Ev sahibi takımın serbest atış isabeti	Özellik
home_FTA	Ev sahibi takımın serbest atış denemesi	Özellik
home_DReb	Ev sahibi takımın defansif ribauntları	Özellik
home_OReb	Ev sahibi takımın ofansif ribauntları	Özellik
home_TReb	Ev sahibi takımın toplam ribauntları	Özellik
home_Assists	Ev sahibi takımın asistleri	Özellik
home_Steals	Ev sahibi takımın top çalmaları	Özellik
Home_Turnovers	Ev sahibi takımın top kayıpları	Özellik
home_win	Ev sahibi takım kazandı mı? (0,1)	Sınıf

4.2.4. Dört Faktör Detaylı Modeli (Four Factors Detailed Model)

Dört Faktör modelini oluşturan 8 adet özellikten oluşmaktadır. Tablo 8’de bu özellikler ve açıklamaları gösterilmiştir.

Tablo 8. Dört Faktör Detaylı Modeli Yapısı (Structure of Four Factor Detailed Model)

İsim	Açıklama	Tipi
home_offence_efgp	Ev sahibi takımın ofansif etkin alan yüzdesi	Özellik
home_offence_tp	Ev sahibi takımın ofansif top kaybı yüzdesi	Özellik
home_offence_orp	Ev sahibi takımın ofansif ribaunt yüzdesi	Özellik
home_offence_ftr	Ev sahibi takımın ofansif serbest atış yüzdesi	Özellik
home_defence_efgp	Ev sahibi takımın defansif etkin alan yüzdesi	Özellik
home_defence_tp	Ev sahibi takımın defansif top kaybı yüzdesi	Özellik
home_defence_orp	Ev sahibi takımın defansif ribaunt yüzdesi	Özellik
home_defence_ftr	Ev sahibi takımın defansif serbest atış yüzdesi	Özellik
home_win	Ev sahibi takım kazandı mı? (0,1)	Sınıf

4.2.5. Melez Modeller (Hybrid Models)

Dört Faktör ve DefansOfans modelleri literatürde kullanılan modellerdir. Yalnız her iki modelde de çok sayıda özellik 2 özelliğe indirgenmektedir. Dört Faktör modelinde toplam 8 özellik, DefansOfans modelinde ise 12 özellik ile hesaplama işlemlerinde kullanılmaktadır. İki modelin birleşimi ile farklı modeller elde edilmiş ve başarı oranını arttırıp arttırmadığı araştırılmıştır. Aşağıda modellerin yanında kaç adet özelliğe sahip olduğu bilgisi verilmiştir.

- Dört Faktör (2 özellik) ve DefansOfans (2 özellik) modeli birleştirilerek elde edilen yeni modelde 4 adet özellik bulunmaktadır.
- Dört Faktör Detaylı (8 özellik) ve DefansOfans (2 özellik) modeli birleştirilerek elde edilen yeni modelde 10 adet özellik bulunmaktadır.
- Dört Faktör (2 özellik) ve DefansOfans Detaylı (12 özellik) modeli birleştirilerek elde edilen yeni modelde 14 adet özellik bulunmaktadır.
- Dört Faktör Detaylı (8 özellik) ve DefansOfans Detaylı (12 özellik) modeli birleştirilerek elde edilen yeni modelde 20 adet özellik bulunmaktadır.

4.3 Algoritmalar ile Tahmin Edilmesi (Prediction with Algorithms)

İlk olarak veri setleri ile oluşturulan 8 adet model Weka programı aracılığı ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Veri seti eğitim seti olarak yaygın kullanılan %66, %80 ve 10-katlı çapraz doğrulama şeklinde ayrılmıştır. kNN algoritmasında k değerleri için 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 kullanılmıştır. Çıkan sonuçlar Tablo 9'da verilmiştir. Yüksek başarı oranına sahip sonuçlar kalın fontla belirtilmiş ve bu sonuçlarda kullanılan parametreler tablonun altında açıklanmıştır.

Tablo 9. Modellerin Algoritmalar ile Tahmin Edilmesi Sonucu Çıkan İlk Sonuçlar (The First Estimating Results of Models with Algorithms)

	kNN	Lojistik Regresyon	Çok Katmanlı Algılayıcı	Naive Bayes	j48
Model 1: DefansOfans	%90,38	%87,5	%86,36	%87,5	%84,2
Model 2: DefansOfans Detaylı	%82,95	%89,77	%88,46	%78,4	%84,6
Model 3: Dört Faktör	%73,07	%71,59	%72,72	%72,7	%71,5
Model 4: Dört Faktör Detaylı	%85,22	%78,07	%75	%82,9	%68,1
Model 5: Dört Faktör & DefansOfans	%88,46	%87,5	%87,5	%82,6	%82,9
Model 6: Dört Faktör Detaylı & DefansOfans	%87,5	%92,04	%86,36	%86,3	%80
Model 7: Dört Faktör & DefansOfans Detaylı	%82,95	%88,63	%80,77	%78,4	%78,8
Model 8: Dört Faktör Detaylı & DefansOfans Detaylı	%86,36	%90,91	%90,91	%81,8	%82,6

- Model 1 ve kNN algoritması için %90,38 çıkan sonuçta eğitim seti %80, algoritma parametresi k=15 olarak seçildi.
- Model 6 ve Lojistik Regresyon algoritması için %92,04 çıkan sonuçta eğitim seti %66 seçildi.
- Model 8 ve Lojistik Regresyon algoritması için %90,91 çıkan sonuçta eğitim seti %66 seçildi.
- Model 8 ve Çok Katmanlı Algılayıcı algoritması için %90,91 çıkan sonuçta eğitim seti %66 seçildi.

Tablo 10. Tablo 9'de Yer Alan 90+ Başarılı Olan Sonuçlar ve İyileştirmelerin Sonuçları (90+ Successful Results and Improvements Results in Table 9)

Sıra	Model	Eğitim Seti	Algoritma	Sonuç	F-Measure ROC RMSE	Yeni Eğitim Seti	Yeni Sonuç	F-Measure ROC RMSE
1	Model 6	%66	Lojistik Regresyon	%92,04	0,922 0,978 0,2371	%89	%96,55	0,965 0,994 0,178
2	Model 8	%66	Lojistik Regresyon	%90,91	0,907 0,967 0,2714	%89	%93,10	0,931 0,978 0,2246
3	Model 8	%66	Çok Katmanlı Algılayıcı	%90,91	0,907 0,928 0,299	%76	%93,55	0,934 0,953 0,26
4	Model 1	%80	kNN (k=15)	%90,38	0,905 0,938 0,3104	%88	%93,55	0,935 0,95 0,3969

Tablo 9'da çıkan sonuçlar arasında 90+ başarı oranı yakalanan sonuçların başarısını daha nasıl arttırılacağı üzerinde çalışılmış ve eğitim seti verilerini her biri için %50-%90 arasında değerlendirilmiş olup ve herhangi bir iyileştirme olup olmadığını anlamak için çıkan sonuçları bir öncekiyle karşılaştırılmıştır. Yeni çıkan sonuçlar Tablo

10'da verilmiştir. Aynı veri setleri, Oylama algoritması ile kullanılmıştır. Her bir çalışma için eğitim seti verilerini %50-%90 arasında değerlendirilerek en başarılı sonuca ulaşmaya çalışılmıştır. En başarılı sonuçlar Tablo 11'de belirtilmiştir. Tüm çalışmalar sonucu çıkan en başarılı algoritma ve modelleri Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 11. Tablo 10'de Yer Alan Sıralı Sonuçlar ile Oylama Algoritmaları ile Tahmin Edilmesi (Estimation with the Voting Algorithms with the Ordered Results in Table 10)

Sıra	Oylama (Lojistik Reg.& Çok Katmanlı Alg.)		Oylama (Lojistik Reg. & Çok Kat. Alg. & Naive Bayes)		Oylama (Lojistik Reg. & Çok Kat. Alg. & Random Forest)		Oylama (Lojistik Reg. & Çok Kat. Alg. & Naive Bayes & Random Forest)	
	Eğitim Seti	Sonuç	Eğitim Seti	Sonuç	Eğitim Seti	Sonuç	Eğitim Seti	Sonuç
1	%89	%93,10	%89	%93,10	%89	%93,10	%89	%93,10
2	%60	%93,27	%89	%93,10	%76	%93,55	%89	%93,10
3	%73	%94,28	%68	%92,77	%73	%94,28	%68	%92,77
4	%76	%88,71	%90	%88,46	%90	%92,30	%76	%88,71

Tablo 12. Tablo 11'de Yer Alan Sıralı Sonuçlara Göre En Başarılı Sonuçlar ve Algoritmalar (Most Successful Results and Algorithms According to the Ordered Results in Table 11)

Sıra	Model	Algoritma	Eğitim Seti	Sonuç	F-Measure ROC RMSE
1	Model 6	Lojistik Regresyon	%89	%96,55	0,965 0,994 0,178
2	Model 8	Oylama (Lojistik Reg. & Çok Kat. Alg. & Random Forest)	%76	%93,55	0,934 0,948 0,2585
3	Model 8	Oylama (Lojistik Reg.& Çok Kat. Alg.)	%73	%94,28	0,942 0,964 0,2442
4	Model 1	kNN (k=15)	%88	%93,55	0,935 0,95 0,3969

5. Tartışma (Discussion)

Yapılan çalışmada geçmiş çalışmalardan farklı olarak yeni bir veri seti kullanılmıştır. Elde edilen veri setleri iki adet ana model ve melez modeller kullanarak makine öğrenmesi yöntemleriyle tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda en başarılı sonuç Lojistik Regresyon algoritması ile Model 6 kullanılarak elde edilmiştir.

Horvat vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada kullanılan model ile beraber 6 adet yeni model oluşturulmuştur. DefansOfans modeline ek olarak Dört Faktör ve bunların birleşimiyle oluşan melez modeller ile yapılan çalışmadaki model sayısı artırılmıştır. En başarılı 4 sonuç arasında yer alan 3 adet sonuçta melez modellerin kullanıldığı görülmüştür.

Çalışmanın amacı doğrultusunda Model 6'ın Lojistik Regresyon algoritması ile incelenmesi sonucunda %96,55 oranında en fazla başarıyı sağladığı görülmüştür. Elde edilen bu başarı, kullanılan model ve algoritmanın uygun olduğunu göstermektedir. Model 6 için RMSE değerleri diğerlerine göre en küçük, aynı zamanda ROC ve F-measure değerleri en yüksektir. Ayrıca Model 8'in Oylama (Lojistik Reg.& Çok Katmanlı Alg.) algoritması ile analizi neticesinde %94,28 oranında başarı sağladığı şeklinde yorumlanabilir. Model 8'in Oylama (Lojistik Reg. & Çok Kat. Alg. & Random Forest) algoritması ve Model 1'in kNN algoritması ile analizi neticesinde ise %93,55 oranında bir başarı yakaladığı sonucuna ulaşılmıştır. Ulaşılan bu sonuçlar kullanılan modellerin yapılan tahminlere uygunluğunu göstermektedir.

Ayyıldız tarafından 2018 yılında yapılan çalışma %90 başarı oranına ulaşarak geçmiş çalışmalar arasındaki en başarılı sonuçtur. Belirtilen çalışmada sadece Yapay Sinir Ağları kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmada ise kNN, Lojistik Regresyon, Çok Katmanlı Algılayıcı, Naive Bayes, j48 ve Oylama gibi makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmıştır. En başarılı sonuca Lojistik Regresyon yardımıyla ulaşılmıştır. Ayrıca Oylama yöntemleri kullanılarak başarı oranlarının artırıldığı görülmüştür.

6. Sonuçlar (Results)

Bu çalışmada literatürde bir ilk olarak, Türkiye Erkekler Basketbol Süper Ligi veri setinin Dört Faktör ve DefansOfans modeli ile birlikte incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda toplamda 260 adet maç değerlendirmeye alınmış ve sonuçları makine öğrenmesi yöntemleriyle tahmin edilmeye çalışılmıştır. En başarılı algoritmanın %96,55 başarı oranı ve %89 eğitim seti değerlendirmesiyle, Lojistik Regresyon olduğu görülmüştür.

Çalışmanın başında eğitim seti olarak yüzde 66, 80 ve 10-katlı çapraz doğrulama kullanılmıştır. Tablo 10'da görüldüğü üzere eğitim seti yüzdesini arttırmak başarı oranını arttırmıştır. Daha sonra oylama algoritmaları ile yapılan tahminlerde Model 8 için başarı oranını arttırdığı görülmüştür. Ayrıca Tablo 9'dan sonra yapılan çalışmalarda eğitim seti değerleri değiştirilerek daha iyi bir sonuca ulaşmak amaçlanmıştır. Eğitim seti değerlerini arttırmanın doğruluk oranını her zaman arttırmadığı gözlemlenmiştir.

Geçmiş çalışmaların çoğu Amerikan basketbol liglerini konu alırken, Avrupa basketbolu ligleri üzerine çalışmaların sayısı oldukça azdır. Avrupa basketbolu gelecek çalışmaların birçoğuna ilham olabilir. Ayrıca bu çalışma sonucunda en başarılı sonuçlar arasında melez modellere rastlanması sebebiyle, elde edilen istatistiksel veriler üzerinden birçok yeni model oluşturulabilir. Elde edilen geçmiş veriler yardımıyla gelecek maçların tahmini ilgili yeni çalışmalar yürütülebilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Ayyıldız, E., 2018. Amerika Basketbol Ligi (NBA) Maç Sonuçlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi, 3(1), 40-53.
- Ballı, S., Karasoy, O., 2019. Development of content-based SMS classification application by using Word2Vec-based feature extraction. IET Software, 13(4), 295-304.
- Caliwag, J.A., Aragon, M.C.R., Castillo, R.E., Colantes, E.M.S., 2018. Prediction Basketball Results Using Cascading Algorithm. In Proceedings of the 2018 International Conference on Information Science and System, 64-68.
- Cao, C., 2012. Sports data mining technology used in basketball outcome prediction. M.Sc. Thesis, Dublin Institute of Technology, Dublin.
- Celik, O., Osmanoglu, U. O., Canakci, B., 2020. Sentiment Analysis From Social Media Comments. Journal of Engineering Sciences and Design, 8(2), 366-374.
- Çiçekli, U.G., Kocamaz, M., Soyuer, H., 2012. Basketbolda Top Hakimiyetinin Analizi ve Takım Performansı Üzerine Etkisi. Pamukkale Journal of Sport Sciences, 3(2), 38-58.
- Erilli, N.A., Ermis, E., Tasmektepligil, M.Y., 2013. Basketball "Turkish Airlines Euro League" 2011-12 season poisson regression simulation modeling. International Journal of Academic Research Part B, 5(5), 151-158.
- Harmandeep, K., Sushma, J., 2017. Machine Learning Approaches to Predict Basketball Game Outcome. 3rd International Conference on Advances in Computing, 1-7.
- Horvat, T., Job, J., Medved, V., 2018. Prediction of Euroleague Games based on Supervised Classification Algorithm k-Nearest Neighbours. 6th International Congress on Support Sciences Research and Technology Support, 20-21.
- Işık, N., Işık, A. H., 2020. Yapay Sinir Ağları İle Elektrostatik Lens Sistem Tasarımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 388-396.
- Karaoğlu, B., 2015. Makine Öğrenmesi ile Spor Karşılaşmalarının Modellenmesi. Emo Bilimsel Dergi, 5(9), 1-6.
- Miljković, D., Gajić, L., Kovačević, A., Konjović, Z., 2010. The Use of Data Mining for Basketball Matches Outcomes Prediction. IEEE 8th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, 309-312.
- Nanğır, M., 2013. Türk Dili İçin Çoklu Sınıflandırıcı Yöntemler ile Duygu Sınıflandırma. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.
- Oliver, D., 2004. Basketball on Paper: Rules and Tools for Performance Analysis. Potomac Books, Washington.
- Özkan, Y., Erol, Ç.S., 2015. Biyoformatik DNA Mikrodizi: Veri Madenciliği. Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul.
- Özmen, M.U., 2016. Marginal contribution of game statistics to probability of winning at different levels of competition in basketball: Evidence from the Euroleague. International Journal of Sports Science & Coaching, 11(1), 98-107.
- Sağbaşı, E.A., Ballı, S., 2016. Akıllı telefon algılayıcıları ve makine öğrenmesi kullanılarak ulaşım türü tespiti. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(5), 376-383.
- Sağbaşı, E.A., Ballı, S., 2017. Akıllı saat algılayıcıları ile insan hareketlerinin sınıflandırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(3), 980-990.
- Sağbaşı, E.A., Korukoglu, S., Ballı, S. 2020. Stress detection via keyboard typing behaviors by using smartphone sensors and machine learning techniques. Journal of Medical Systems, 44(4), 1-12.
- Thabtah, F., Zhang, L., Abdelhamid, N., 2019. NBA Game Result Prediction Using Feature Analysis and Machine Learning. Annals of Data Science, 6(1), 103-116.
- Torres, R.A., 2013. Prediction of NBA games based on Machine Learning Methods. University of Wisconsin Madison.

- Zimmermann, A., 2016. Basketball predictions in the NCAA and NBA: Similarities and differences. *Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Science Journal*, 9(5), 350-364.
- Zimmermann, A., Shi, Z., Moorthy, S., 2013. Predicting NCAA match outcomes using ML techniques – some results and lessons learned. In *ECML/PKDD 2013 Workshop on Machine Learning and Data Mining for Sports Analytics*.
- Türkiye Basketbol Süper Ligi İstatistikleri <http://www.tblstat.net/> (Erişim: 19.03.2020)



KAŞ (ANTALYA) KIYI BÖLGESİNİN MİKROBİYOLOJİK KİRLİLİK DEĞERLENDİRMESİ

Şehnaz ŞENER^{1*}, Erhan ŞENER², Simge VAROL¹

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Algılama Arş. Uygulama Merkezi, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Deniz Suyu Kalitesi,
Fekal İndikatör,
Mikrobiyoloji,
Kaş.

Öz

Akdeniz'in batı kıyısında bulunan çalışma alanı önemli turizm potansiyeline sahip bölgelerimizden birisidir. Bu çalışmada, Kaş ilçesi kıyı bölgesinde kirlilikten etkilenmesi mümkün üç farklı lokasyondan aylık periyod ile alınan deniz suyu örneklerinin fizikokimyasal ve mikrobiyolojik kalitesi incelenmiştir. Ayrıca su kalite parametrelerinin istatistiksel analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Kaş, Üçağız ve Kale kıyı bölgelerini temsil eden deniz suyu örneklerin tamamı limit değerlere uygundur. Ancak, genel olarak Toplam Koliform, Fekal Koliform ve Fekal Streptokok gibi fekal indikatörlerin özellikle yaz aylarında diğer aylar ile kıyaslandığında yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde çözünmüş oksijen ve ışık geçirgenliği değerleri de yaz aylarında daha düşük ölçülmüştür. Deniz suyu örneklerinde yapılan Pearson Korelasyon Analizi sonuçları değerlendirildiğinde özellikle sıcaklık (°C), pH, NH₄-N ve mikrobiyolojik parametreler arasında anlamlı ilişkiler söz konusudur. Bölgede turizme bağlı olarak yaz aylarında nüfus ciddi oranda artmaktadır. Buna bağlı olarak insan faaliyetleri kaynaklı kirlilik denizel ortamı ve deniz suyu kalitesini kısmen olumsuz etkilemektedir. Elde edilen sonuçlara göre Kaş kıyı bölgesi özellikle mikrobiyolojik parametreler bakımından genel olarak kirlilik taşımamakta ve bölgede deniz suyu kalitesi iyi durumdadır.

MICROBIOLOGICAL POLLUTION ASSESSMENT OF KAŞ (ANTALYA) COAST REGION

Keywords

Sea Water Quality,
Fecal Indicator,
Microbiology,
Kaş.

Abstract

The study area located on the west coast of the Mediterranean is one of the regions with significant tourism potential. In this study, the physicochemical and microbiological quality of the sea water samples taken from three different locations that can be affected by pollution in the coastal region of Kaş district are examined. In addition, statistical analysis of water quality parameters was performed. According to the results obtained, all of the sea water samples representing the coastal regions of Kaş, Üçağız and Kale comply with the limit values. However, fecal indicators such as Total Coliform, Fecal Coliform and Fecal Streptokok were found to be high in the summer months compared to other months in general. Likewise, dissolved oxygen and light transmittance values were measured lower in the summer months. When the results of Pearson Correlation Analysis are evaluated, there are significant relationships especially between temperature (°C), pH, NH₄-N and microbiological parameters. The population increases significantly in the summer months depending on the tourism in the region. According to the obtained results, Kaş coast region do not have any pollution in terms of microbiological parameters and seawater quality is good in the region.

Alıntı / Cite

Şener, Ş., Şener, Ş., Varol, S., (2020). Kaş (Antalya) Kıyı Bölgesinin Mikrobiyolojik Kirlilik Değerlendirmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 753-765.

* İlgili yazar / Corresponding author: sehnazsener@sdu.edu.tr, +90-246-211-1324

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
Ş. Şener, 0000-0003-3191-2291	Başvuru Tarihi / Submission Date	20.04.2020
E. Şener, 0000-0001-6263-8366	Revizyon Tarihi / Revision Date	22.06.2020
S. Varol, 0000-0002-1905-9454	Kabul Tarihi / Accepted Date	07.07.2020
	Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Giriş (Introduction)

Yeryüzündeki kaynakların hepsinden ayrı olarak suyun, özel bir önemi bulunmaktadır. Yerine başka bir şeyin koyulamayacağı doğal bir kaynak olarak su, insan hayatı için oksijenden sonra en önemli ögedir (Ulusoy, 2007; Şener ve Taştekin, 2019). İnsanlar kadar tüm ekosistemi oluşturan diğer canlıların yaşamının başında gelmektedir ve dolayısıyla suya olan talep sürekli ve devamlıdır. Ancak su kaynakları yeryüzünde dağılımındaki eşitsizliğin yanı sıra, birçok etkene bağlı olarak her geçen gün ihtiyaçlara cevap veremeyecek derecede azalmakta ve kullanımını sınırlandırılmaktadır. Sahip olduğu yaşamsal, ekonomik ve stratejik önem nedeniyle su, günümüzün ve yakın geleceğin en çok tartışılan konusu olma potansiyeli arz etmektedir (Özsoy, 2009; Arıman ve Koyuncu, 2019; Varol vd., 2020).

Dünyanın % 97,5'i suyla kaplıdır ve bu suların % 71'ini de denizler oluşturmaktadır (Ulusoy, 2007). Deniz suyu dünyanın var olması ile birlikte oluşmuş ve suya ihtiyaç duyan canlıların, içinde yaşam alanı bulduğu tuzlu bir yapıya sahip olan su kütleleridir. Deniz suyundaki kasit sadece denizlerde bulunan su kütlelerinden bahsedilmemekle beraber okyanuslar ve diğer tatlı su kütleleri olmayan su kütlelerini de kapsamaktadır (Baran, 2017). Deniz suları denizel organizmalar (flora ve fauna) için yaşam alanı olması açısından hayati önem taşımaktadır. Bunun dışında içinde yer alan elementler, kimyasal maddeler ve yoğun tuz sebebi ile insani kullanımlar açısından kullanılabilirliği oldukça azdır. Deniz suyunun ve denizel ortamların önemli bir kullanım alanı olan rekreasyonel veya turizm amaçlı kullanımları son yıllarda gittikçe daha ekonomik ve sosyolojik öneme sahip olmaktadır. Ancak çevresinde giderek yoğunlaşan yerleşim alanlarından kaynaklanan atıkların kontrolsüz bir şekilde denizlere deşarj edilmesi nedeni ile denizel ve kıyı ortamları daha fazla sıvı ve katı atıklarca fizikokimyasal ve mikrobiyolojik olarak kirlenmektedir (Verap vd., 2005; Gürün ve Altuğ, 2013; Taşpınar vd., 2015). İnsan temasının bulunduğu suların evsel ve endüstriyel atık kökenli mikroorganizmalar ile kirlenmesi, pek çok epidemiyolojik riski de beraberinde getirmektedir (Gurun ve Kimiran, 2013). Konu ile ilgili olarak yapılan epidemiyolojik çalışmalar, atık sular, hayvansal atıklar ve kentsel yüzey akış sularıyla kirlenen sularda yüzme ve rekreasyonel faaliyetlerin, başta gastrointestinal ve solunum yolu hastalıkları olmak üzere, göz ve kulak enfeksiyonları gibi birçok hastalığın ortaya çıkma ihtimalini arttırdığını göstermiştir (Terzi ve Sünter, 2019). Dolayısıyla sucul yaşam ve insan sağlığı için bu tür alanların kullanımında mevsimsel mikrobiyolojik su kalitesi kontrolü önem kazanmaktadır.

Mikrobiyolojik su kalitesini belirlemek için su kaynaklı hastalıklara neden olan patojen bakterilerin potansiyel olarak su içerisinde var olduğunu göstermek gerekmektedir. Bunun için total koliformlar, fekal koliformlar ve fekal streptokok'ların suların rutin analizlerinde fekal kirlilik indikatörleri olarak kullanılmaktadır (Gurun ve Kimiran, 2013). Bakteriyolojik su kalitesi veya su kirliliği araştırmalarında sonuçların değerlendirilmesinde içme suları, yüzey suları ve kıyılarda rekreasyon amaçlı çalışmalar ön plana çıkmaktadır. İnsan sağlığı açısından en hassas standartlar içme sularının su kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu açıdan insani tüketim amaçlı olarak kullanılan su kaynaklarının ve içme sularında hiçbir mikrobiyolojik faktörün olmaması bildirilmektedir (Anonim, 2005; Taşpınar vd., 2015). Diğer yandan yüzey sularının su kalitesinin değerlendirilmesinde Yüzeysel Su Kalitesi Yönetmeliğinde Kıta içi Yüzeysel Suların Sınıflandırılmasıyla ilgili bakteriyolojik standartlar ve Rekreasyon Maksadıyla Kullanılan Kıyı ve Geçiş Sularının Sağlanması Gereken Standart Değerler kullanılmaktadır (Anonim, 2012; Taşpınar vd., 2015). Ayrıca Yüzme Suyu Kalitesi Yönetmeliğinde de özellikle denizel alanlarda kıyı ve plajlarda yüzme ve rekreasyon amacıyla kullanılan suların sağlanması gereken kalite kriterleri su kalite sonuçlarının fizikokimyasal ve bakteriyolojik olarak değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Anonim, 2006).

Bu çalışmada da Kaş kıyı bölgesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma alanı, Kaş-Kekova Özel Çevre Koruma Bölgesi içerisinde olup, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde sahip olduğu zengin biyolojik çeşitliliği ile korunarak gelecek nesillere aktarılması gereken bir yapıya sahiptir. Doğu Akdeniz'in en zengin biyolojik çeşitliliğe sahip alanlarından biri olma özelliği taşımaktadır. Ayrıca Kaş-Kekova kıyı bölgesi jeolojik yapısıyla ilişkili olarak kovuklar ve denizaltı mağaraları ile tatlı su boşalım noktalarını kapsayan bir yapıya da sahiptir. Bölge tarım, dalış, doğa ve tekne turizmi, mavi yolculuk, yatçılık, yamaç paraşütü, kano, dağ bisikleti ile yerel balıkçılık gibi rekreasyonel ve ekonomik faaliyetlere de olanak sağlamaktadır (KKÖÇKR, 2019). Tüm bu önemli özelliklerinin yanında bölgede bulunan yerleşim yerleri nedeni ile çalışma alanı olan Kaş-Kekova kıyılarında insan kaynaklı atıklarla ilişkili mikrobiyolojik kirlenme dikkati çekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, çevresindeki yerleşim birimleri ve turistik tesisler ile deniz içi ekosistemi için alıcı ortam vazifesi gören Kaş-Kekova kıyılarının mikrobiyolojik kirlenme durumunun ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışma kapsamında elde edilen sonuçlarla kıyı sularının kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışma alanında deniz

suyunun hidrokimyasal ve mikrobiyolojik kalite özelliklerinin birlikte değerlendirildiği güncel verilerin bulunmaması çalışmanın orijinalliğini ve önemini daha da arttırmaktadır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeolojik yapısı ve biyolojik çeşitliliği ile ilgili pek çok araştırma yanısıra deniz suyu fiziksel özelliklerinin değerlendirildiği az sayıda ve güncel olmayan araştırma bulunmaktadır. Ancak çalışmanın ana hedeflerinden biri olan mikrobiyolojik su kalitesi ile ilgili güncel bir çalışma bulunmamaktadır. Özellikle inceleme alanının jeolojisine yönelik Pisoni (1967) tarafından yapılan araştırmada bölgedeki karbonatlı kayaların oluşturduğu kireçtaşlarından oluşan formasyon “Kaş Kalkeri” olarak, Şenel (1997a ve 1997b) tarafından ise Beydağları Otoktonu olarak isimlendirilmiştir.

Bölgede yapılan hidrojeolojik araştırmalardan birisi Elhatip (1992) tarafından hazırlanan “Hydrogeological Investigation of Kaş-Kalkan Area and Its Vicinity” başlıklı doktora tez çalışmasıdır. Çalışmada bölgenin genel hidrojeolojik özelliklerini incelemiştir. Çalışmaya göre, bölgede dört ana hidrolojik birim bulunmaktadır. Bu birimler yapısal ve hidrojeolojik özelliklerine göre Karstik Alt ve Üst birimler, Geçirimsiz alt birim ve Kuvaterner çökeller olarak ayırt edilmiştir. Jura-Üst Kretase yaşlı Beydağları kireçtaşı, Eosen yaşlı Susuzdağ dolomitik kireçtaşı ve Üst Miyosen yaşlı Dirgenler çakıltaşları otokton konumlu geçirimli birimleri oluştururlar. Bölgede yeraltısuyu akım yönü kıyı akiferi olan Beydağları kireçtaşına doğrudur. Yeraltısuyu kalite incelemelerine göre kıyı alana yakın bölgelerdeki kaynak sularının kısmen tuzlu olmasına rağmen genel olarak içme ve sulama açısından uygun özelliklerde olduğu belirtilmektedir.

McNeely vd. (1994) tarafından yapılmış bir başka araştırmada ise hem karada hem de denizde korunan alanların karşılaştığı temel sorunları anlatmakta ve bu konulara yönelik gerekli yaklaşımları tartışmaktadır. Özellikle kıyı deniz ortamındaki korunan alan sorunlarını ele almaktadır. Kıyı ve deniz yönetimi ile ilgili bu araştırmada doğa koruma ve her alanın kendine özgü yönetimini hedefleyerek planlama aşamaları ele alınmıştır.

2004 (a) yılında Öztan vd. tarafından yapılan “Patara-Kekova tatlı su boşalımlarının ve denizaltı mağaralarının araştırılması, Türkiye Kıyıları” başlıklı çalışmada Batı Toroslar’ın Patara Kekova bölümü, tatlı su boşalımları ve kıyı-denizaltı mağaraları açısından incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, Patara-Kekova bölgesinde denize olan başlıca tatlı su boşalımlarının yüzde 50 ile 60 arasında tatlı su içerdiğini göstermiştir. Anılan boşalımlar kıyıya paralel ya da iç kesimlere uzanan kırık hatları ile ilişkili görünmektedir. Belirlenen kıyı ve denizaltı mağaralarında ağız derinliklerinin günümüz deniz seviyesinin altında bulunması bunların gelişimlerinin orta-geç Pleistosen buzul dönemleri ile bağlantılı olabileceğini göstermektedir. Öztan vd. (2004b); tarafından yapılan bir başka çalışmada ise “ Kaş dolaylı kıyı kuşağında karstlaşmanın gelişimi: Mivini ve Altuğ denizaltı mağaraları” başlıklı çalışmada Mivini ve Altuğ mağaralarının oluşum mekanizması ve mevcut tatlısu boşalım hidrodinamiği mağara geometrisinin belirlenmesine dönük ölçümler ve hidrokimyasal gözlemler ile belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre Mivini mağarası tatlısu-tuzlu temas yüzeyi boyunca gelişmiş, Türkiye’de bilinen en derin deniz mağarasıdır. Altuğ mağarasının gelişimine karasal koşullar altında başladığı, olasılıkla deniz seviyesindeki yükselme sonucu bugünkü konumuna ulaştığı anlaşılmaktadır. Dönemsel hidrokimyasal gözlemler tatlısu boşalım dinamiğinin mevsimlik değişim gösterdiğine, Tatlısu katkısının sonbahar aylarına doğru azaldığına işaret etmektedir.

Bayarı vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada “Türkiye kıyıları tatlı su boşalımlarının geri kazanılması: Patara-Tekirova pilot projesi” kapsamında güneybatı Anadolu’da, Patara-Tekirova kıyı zonundaki tatlısu boşalımlarının konumlarının ve özelliklerinin belirlenmesini amaçlanmıştır. Proje sonuçlarına göre, araştırma alanında denize tatlısu boşalımı büyük oranda incelenen 120 km’lik kıyı bandının %80’ini oluşturan otokton konumlu Beydağları karbonatlarından, kırık- çatlak ve karstik akım kanalları boyunca gerçekleşmektedir. Araştırmada, tüm kıyı kesimi tarama dalışları ile 0-30 m derinlik aralığını kapsayacak biçimde sistematik olarak incelenmiş, 145 dolayında tatlısu boşalım noktası belirlenmiştir. Bunlardan 15 adedi farklı boyutlardaki kovuk ve mağaralardan oluşmaktadır. Mağara girişleri 0-20 m derinlik aralığında yer almakta, en derin bölümler -80m’ye kadar uzanmaktadır. Özgül elektriksel iletkenlik ve duraylı izotop içeriğinden belirlenen tatlısu katkıları % 0-80 aralığında değişmekte olup, ortalama Tatlısu katkısı %40 dolayındadır. Özgül elektriksel iletkenlik değerlerinin iki değer aralığında yoğunlaşması (12,5 mS/cm-25,0 mS/cm ve 37,5 mS/cm-47,5 mS/cm) tatlısu boşalımının biri daha güçlü, diğeri daha zayıf olmak üzere iki farklı akım sisteminde gerçekleştirildiğini göstermektedir. Su örneklerinin duraylı izotop içerikleri döteryum fazlası +14 olan yerel meteorik su eşitliğine uymaktadır.

Bölgenin biyolojik çeşitliliği ve yapısı ile ilgili Demir (2011) tarafından hazırlanan “Kaş (Antalya) Deniz Koruma Planlamasında Karar Destek Sistemleri Kullanılarak Biyoçeşitlilik Araştırması” başlıklı doktora tez çalışmasında Kaş-Kekova Özel Çevre Koruma Bölgesi’nin Kaş bölümünde elde edilen biyolojik çeşitlilik verilerinin ve çevresel

etkilerin Coğrafi Bilgi Sistemleri kapsamında sayısal ortama aktarılması, analiz edilmesi ve Karar Destek Sistemleri ile değerlendirilmesi sonucunda, deniz koruma planlamasında biyoçeşitlilik araştırmalarının gelişimini irdelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma bölgedeki fiziksel ve kimyasal veriler ile bölgedeki tür çeşitliliği ortaya konmuş, biyolojik çeşitliliğe etki eden faktörler incelenerek değerlendirmeler yapılmıştır. Bölgedeki biyoçeşitliliğin doğru irdelenmesi için gerekli olan bu faktörler koruma planlaması kapsamında değerlendirilmiş, tüm veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Karar Destek Sistemleri'nde analiz edilerek koruma bölgeleri belirlenmiştir.

Ornat vd. (2013) yılında hazırlanan "Kaş-Kekova ÖÇKB Denizel Yönetim Planı" başlıklı bir başka çalışmada ise bölgenin sosyoekonomik, denizel bilimsel araştırmalar ve Ölüdeniz Alanı Taşıma Kapasitesi'nin belirlenmesi araştırmaları tamamlanmış, Kaş-Kekova bölgesinin değerleri (sualtı kaynakları, doğal, tarihi ve arkeolojik) ortaya konulmuştur. Bununla birlikte, bölgedeki riskler ve sorunlar tüm paydaşlarla ortak belirlenmiş, ortak çözümler geliştirilmiş ve alınması gereken önlemler belirlenmiştir. Yönetim planına dahil edilen bulgularla zonlama haritası çıkarılmıştır. Bu bilgiler, uygulama hedeflerinin belirlenmesine veri sağlamıştır. Bilimsel araştırmalarla birlikte, alan yönetimi alternatiflerini ve yararlı stratejileri açıklayan bir coğrafi bilgi sistemi desteğiyle denizde mekânsal planlamayı öneren yönetim hedefleri, paydaşların katılımıyla belirlenmiş; dalış turizmi, tur tekneleri, yerel balıkçılık faaliyetleri gibi alan kullanımlarının belirlendiği alan çalışmaları ve yasal değerlendirmeler tamamlanmıştır. Uygulama hedeflerinin öncelikleri ve sorumlu / danışılacak kurumlar belirlenmiş, yönetim planı sürecine kurumsal destek sağlayan Yerel, Teknik ve Üst Düzey Yönlendirme Komiteleri kurulmuştur.

Kumlutaş vd. (2011) tarafından yapılan bir başka araştırmada Kaş civarı ve Kekova Adası'nda dağılım gösteren kurbağa ve sürüngen türleri tespit edilerek bölgeye ait eksik bilgiler giderilmeye çalışılmıştır. Araştırma sahasından 20 tür tespit edilmiştir. Bunlardan biri kuyruklu kurbağa, üçü kuyruksuz kurbağa, biri kara kaplumbağası, dokuzu kertenkele ve altısı yılan grubundandır.

Ülkemiz genelinde geniş kapsamlı çalışma alanının da dahil edildiği ve 2016 yılında T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü tarafından Artek Mühendislik Çevre Ölçüm ve Danışmanlık Hizmetleri Ticaret Anonim Şirketine hazırlanan bir başka proje "Belek, Patara, Kaş-Kekova, Fethiye-Göcek, Göksu Deltası, Tuz Gölü, Foça, Gölbaşı, Köyceğiz-Dalyan, Datça-Bozburun, Gökova, İhlara, Uzungöl Ve Saros Körfezi Özel Çevre Koruma Bölgeleri'nde Su Kalitesinin İzlenmesi Ve Özel Çevre Koruma Bölgeleri'nde İşletilmekte Olan Atıksu Arıtma Tesislerinin Verimliliğinin İzlenmesi Projesi" dir (Anonim, 2016). Bu proje kapsamında Belek, Patara, Kaş-Kekova, Fethiye-Göcek, Göksu Deltası, Foça, Tuz Gölü, Gölbaşı, Köyceğiz-Dalyan, Gökova, Datça-Bozburun, İhlara, Uzungöl ve Saros Körfezi Özel Çevre Koruma Bölgeleri'nde yer alan önemli akarsu, göl, drenaj kanalları ve deniz alanlarında fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerin izlenerek sürekli bir veri akışının sağlanması, doğal kaynakların kirlenmesinin ve tahribinin önlenmesi için kirlilik etkenlerini kontrol etmeye yönelik gereken önlemlerin alınması ve kaynaklara ilişkin çeşitli kullanım kararlarının oluşturulması amaçlanmıştır. Ayrıca, özel çevre koruma bölgelerinde işletilmekte olan atıksu arıtma tesislerinin verimliliklerinin izlenerek varsa sorunların tespit edilmesi ve gereken önlemlerin alınması amacıyla 2006 yılından 15 Özel Çevre Koruma Bölgesinde 245 noktada izleme çalışması yapılmıştır.

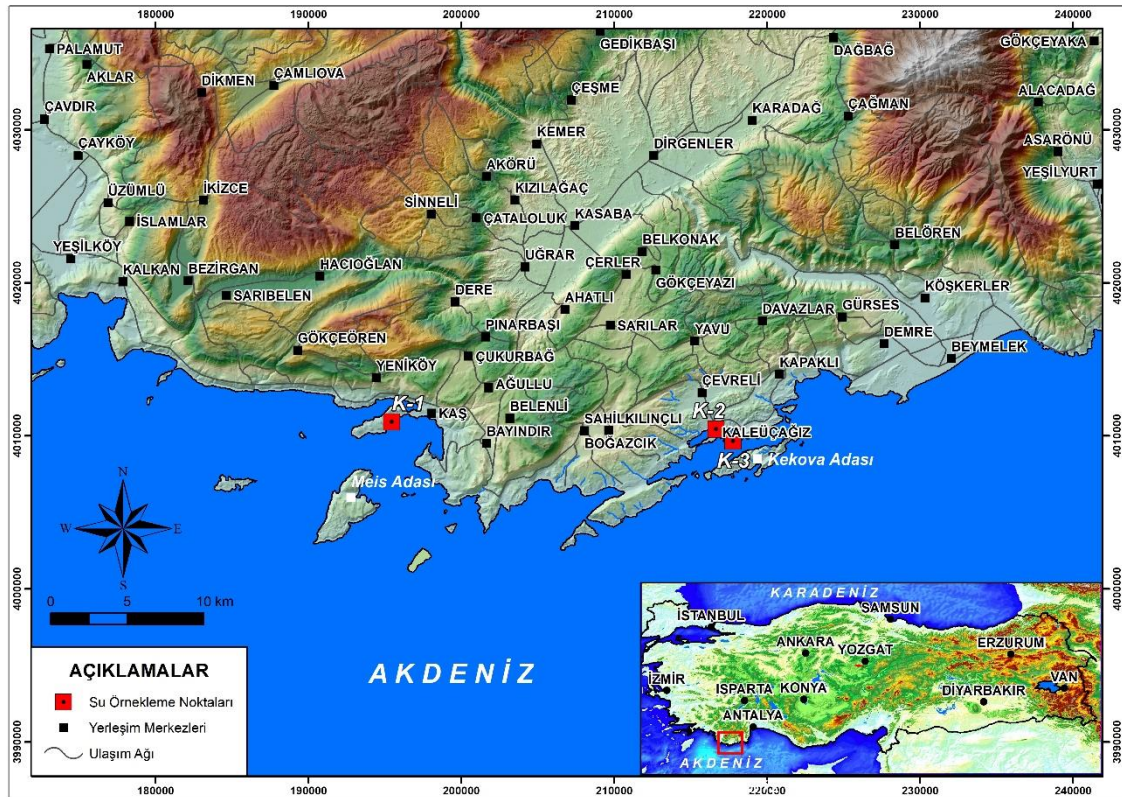
Tezel (2018) tarafından yapılan araştırmada Kaş-Kekova Bölgesi'nde mevcut flora ve fauna türlerine ait verilerin mekânsal analizleri ile ekolojik ağların planlanması hedeflenmiştir. Kaş-Kekova Bölgesi'nde mevcut 51 familyaya ait 187 cins ve bu cinslere ait 272 tür ve tür altı takson geçmiş araştırmalarla tespit edilmiştir. Bölgedeki türlerden 26'sı Türkiye'ye özgü endemiktir. Ayrıca, 20 memeli türü, 96 kuş türü, 16 sürüngen ve 4 tane iki yaşamlı türü yer almaktadır. Bölgede yer alan flora ve fauna türlerine ait veriler ile mekânsal istatistik ve nokta deseni analizinin adımları gerçekleştirilmiş, Çeyrek Yoğunluğu Tahmini (Kernel Density Estimation) ile alanlar tanımlanmıştır. Kaş-Kekova Bölgesi'nde ekolojik ağların korunması ve planlanması için mekânsal analizler ve matematik modellerle desteklenen bir koruma stratejisi önerilmiştir.

Bölgeye ait en güncel biyolojik çalışma olan KKÖÇKR, (2019)'da ise Kaş-Kekova Özel Çevre Koruma Bölgesi için, Biyolojik Çeşitlilik Araştırma Projesi hazırlanmıştır. Projede sürdürülebilir koruma ve kullanım kararlarına esas olmak üzere karasal ve denizel biyolojik çeşitliliğin (flora-fauna) tespiti, mevcut durumun ortaya konulması; endemik, nadir, nesli tehdit ve tehlike altında olan tür ve habitatların sınıflandırılması, bölgelemesi, tehditlerinin ve korunmasına esas verilerin ortaya konması, koruma ve kullanma ilkelerinin belirlenmesi ve yönetilmesini sağlamak üzere karar vericilere yol göstermesini amaçlanmıştır. Proje kapsamında alan yönetimi yaklaşımı ile sürdürülebilirlik anlayışına uygun şekilde Kaş- Kekova Özel Çevre Koruma Bölgesinde yapılacak Yönetim Planı ve Fiziki Planlama çalışmalarına altlık oluşturulmaya çalışılmıştır. Bölgenin biyolojik zenginliğinin gelecek nesillere aktarılması ve tanıtılması, bölge halkı için ekolojik ve ekonomik sürdürülebilir bir geleceğin yaratılmasının sağlanması yönünde çalışmalar yürütülmüştür.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Çalışma Alanı (The Study area)

Çalışma alanı Antalya'nın batısında Kaş-Kekova Özel Çevre Koruma Bölgesi içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). 18.01.1990 tarih ve 90/77 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile tespit ve ilan edilen "Kekova Özel Çevre Koruma Bölgesi"nin adı 2002 yılında gerçekleştirilen "Likya Kıyılarındaki Ekolojik Bölge Ölçekli Koruma ve Sorumlu Turizm Projesi, Denizel Biyolojik Zenginlik Araştırması" bulgularına dayanılarak, 8/11/2006 tarihli ve 2006/11266 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile alanı genişletilerek "Kaş - Kekova Özel Çevre Koruma Bölgesi" olarak değiştirilmiştir. Kaş-Kekova Özel Çevre Koruma Bölgesi'nin kuzey-kuzeydoğu sınırında Demre ilçesi, kuzey-kuzeybatı sınırında ise Kaş İlçesi ile komşudur. Çalışma alanının güney sınırı tamamen denizel alandır.



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası (Location map of the study area)

Çalışma alanını oluşturan ve ülkemizin en önemli tatil bölgelerinden biri olan Kaş İlçesi, Antalya iline yaklaşık 200 km uzaklıkta olup Antalya'nın dördüncü büyük ilçesidir. İlçenin kıyısı, batıda Eşen çayından başlayarak, doğuda Üçağız bölgesine kadar uzanmaktadır. Kaş ilçesi ile Üçağız mevkiinin kıyı uzunluğu yaklaşık 90 km'dir. Kekova, Üçağız yerleşim alanının karşısında yerleşim bulunmayan bir ada şeklinde olup batık kenti ile ünlüdür. Üçağız bölgesinin doğusunda ise küçük bir yerleşim olan Kaleköy bulunmaktadır. Kıyı yerleşim birimleri olan Üçağız ve Kaleköy "Kaş - Kekova Özel Çevre Koruma Bölgesi" içerisinde yer aldığından ve morfolojik yapısından dolayı kentleşme ve yapılaşma oldukça sınırlıdır. Ancak her iki bölgede de yoğun bir şekilde yat turizmi yapılmaktadır (KKÖÇKR, 2019).

Çalışma alanında yükseklikler genellikle kıydan başlayarak kuzeye doğru artmaktadır. Ani yükseklik artışlarının gözlemlendiği bölgelerde eğim oranı da yüksektir. Alanda karayolu ile ulaşım imkanlarının zor olduğu lokasyonlarda bulunmaktadır. Bu bölgeler genellikle sarp ve dik yamaçları içermektedir. Alanda yükseklikler deniz seviyesinden yaklaşık 900 metreye kadar artmaktadır. Alanda kıyı boyunca girintili çıkıntılı koylar bulunmaktadır. Çalışma alanı güneybatı Anadolu'da Teke Yarımadası'nın güney kıyı şeridini oluşturmaktadır. Teke Torosları, kıyı şeridinden itibaren birkaç kilometre içerde, 1000 m. ve üzerinde uzanan dağlık bir morfolojiye sahiptir. Bölgedeki karbonatlı kayaların oluşturduğu kireçtaşlarından oluşan formasyon Pisoni (1967) tarafından "Kaş Kalkeri" olarak, Şenel (1997a ve 1997b) tarafından ise Beydağları Otoktonu olarak isimlendirilmiştir. Çalışma alanında tüm yıl boyunca sürekli akış gösteren yüzey suyu bulunmamaktadır. Bölgenin farklı topoğrafik ve jeomorfolojik özelliklerine bağlı olarak bölgede farklı karstik kaynaklar gelişmiştir. Yapılan meteorolojik analizlere göre Kaş meteoroloji istasyonunda ölçülen ortalama yıllık yağış miktarı 773,75 mm olarak belirlenmiştir. Karstik akiferlerin boşalımı büyük oranda denize doğru gerçekleşmektedir. Çalışma alanının en

önemli ekonomik faaliyetleri tarım ve turizmdir. Özellikle dalış, doğa ve tekne turizmi, mavi yolculuk, yatçılık, yamaç paraşütü, kano, dağ bisikleti ile yerel balıkçılık sıklıkla gerçekleştirilen faaliyetlerdir. Aynı zamanda hayvancılık önemli bir gelir kaynağıdır. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre Kaş ilçesinde 2018 yılında 88,820 adet küçükbaş ve 6436 adet büyükbaş hayvan kaydı bulunmaktadır. İlçe genelinde seracılık faaliyetlerinde de 2004 yılı ile 2018 yılı arasında yaklaşık %70 artış söz konusudur. Çalışma alanının önemli bir bölümünün denizel ortam olması nedeniyle bölgedeki altyapı ve tarım, turizm gibi insan kaynaklı faaliyetlerin denizel ortam üzerindeki etkileri son derece önemlidir. Özellikle bölgenin sahip olduğu turizm potansiyelinden kaynaklı olarak artan/artabilecek turizm faaliyetlerinin Deniz Koruma Alanı statüsü taşıyan bölgedeki denizel alana zarar vermeyecek şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir (KKÖÇKR, 2019).

Kaş ilçesi Çukurbağ yarımadasının girişinde Kaş Atık Su Arıtma Tesisi bulunmaktadır. Yaklaşık 25.000 nüfusa hizmet etmesi planlanan atık su arıtma tesisi, İller Bankası projesi olarak 2006 yılında yapılmış ve işletmeye alınmıştır. Bölgede tarımsal kirleticiler ile birlikte yerleşim alanlarından kaynaklanan evsel atıksuların bertarafı amacıyla kurulmuş olan tesis 2016 yılında elektro-mekanik revizyonları gerçekleştirilmiş ve üniteler işletmeye alınmıştır. Yapılan rehabilitasyon çalışması ile birlikte Kaş Atıksu Arıtma Tesisinde ön arıtma ekipmanlarının tamamı, çamur susuzlaştırma ekipmanlarının tamamı, geridevir pompaları ile Terfi istasyonlarındaki pompaların birçoğu yenileri ile değiştirilmiş ve tesislerin daha verimli çalışmaları sağlanmıştır (<https://www.asat.gov.tr/tr/>).

3.2. Yöntem (Method)

Kaş ilçesi kıyı bölgesinde deniz suyu kalitesinin ve mikrobiyolojik kirliliğin araştırılması amacıyla yapılan çalışma kapsamında, özellikle evsel kirlilikten etkilenmesi mümkün olabilecek Kaş, Üçağz ve Kale bölgelerinden alınan deniz suyu örnekleri (K-1, K-2, K-3) incelenmiştir. Örnekler için analiz sonuçları DSİ 13. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiş olup örnek alımı ve analizlerde Yüzme Suyu Kalitesi Yönetmeliği (76/160/AB) ile belirlenmiş kriterler ve analiz metotları kullanılmıştır. 2017 yılında aylık olarak alınmış su örneklerinin Toplam Koliform (CFU/100mL), Fekal Koliform (CFU/100mL), Fekal Streptokok (CFU/100mL) gibi fekal indikatörler olan mikrobiyolojik parametrelerinin yanı sıra pH, sıcaklık (°C), ışık geçirgenliği (m), Çözünmüş Oksijen (mg/L), O₂ (%) ve Amonyak (mg/L) parametrelerine ait analiz ve ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde "Yüzme Suyu Kalitesi Yönetmeliği (76/160/AB), (Anonim, 2006)" ile belirlenen kılavuz ve zorunlu limit değerler dikkate alınmıştır. Ayrıca, deniz sularında ölçülen parametrelerin birbirleri ile ilişkilerini istatistiksel olarak belirlemek için SPSS paket programı kullanılarak korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizi, bir değişkenin iki veya daha çok değişkenle arasındaki ilişkiyi ölçer ve hesaplanan değerler -1 ile +1 arasında değişir. Hesaplanan değer pozitif ise X değeri artarken Y değeri de artıyor demektir. Negatif korelasyon durumunda ise X değeri artarken Y değeri azalıyor anlamındadır (Manish et al. 2006).

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

Çalışma kapsamında Kaş (Antalya) ilçesi kıyı bölgesi içerisinde bulunan ve kirlilikten etkilenme potansiyeline sahip 3 farklı lokasyondan (K-1, K-2, K-3) aylık olarak alınan deniz suyu örneklerinin kimyasal ve mikrobiyolojik analiz sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur.

4.1. Deniz Suyunun Fizikokimyasal Kalite Değerlendirmesi (Physico-Chemical Quality Qssessment of Sea Water)

K-1 nolu örnek lokasyonu Kaş ilçesi yerleşim alanının batısında bulunan Çukurbağ yarımadasının güney kıyısında yer almaktadır. Ayrıca bu lokasyon Kaş Atık su arıtma tesisinin derin deşarjının yapıldığı denizel bölgeyi temsil etmektedir. K-1 nolu lokasyondan alınan deniz suyu örneklerinin pH değeri 5,33 ile 8,80 arasında değişmekte olup Ekim, Kasım ve Aralık aylarında yüksek pH değerine sahip olduğu görülmektedir. Yüzme Suyu Kalitesi Yönetmeliğine (Anonim, 2006) göre pH değeri 6 ile 9 arasında olması gerekmektedir ve K-1 nolu lokasyondan alınan deniz suyu örneklerinin pH değerleri limit değerler içerisinde yer almaktadır. Aylık deniz suyu sıcaklık değeri 16,50 °C ile 30 °C arasında ölçülmüştür ve olağan olarak yaz aylarında deniz suyu sıcaklığı yüksek değerlerde ölçülmüştür. Işık geçirgenlik değerleri minimum 15,00 m, maksimum 28,00 m olarak belirlenmiştir. En yüksek ışık geçirgenlik değeri 28 m ile Şubat ve Mart aylarıdır. Yüzme Suyu Kalitesi Yönetmeliği ile ışık geçirgenlik değerlerinin zorunlu limit değeri 1 m, kılavuz limit değeri ise 2 m olarak belirlenmiş olup ölçülen değerler limit değerlere göre oldukça yüksektir. Bu da deniz suyu kalitesinin iyi durumda olduğunu göstermektedir. K-1 nolu lokasyondan alınan deniz suyu örneklerinin Çözünmüş oksijen değerleri 4,23 mg/l ile 9,1 mg/l arasında değişmektedir. Nisan ayında en düşük çözünmüş oksijen değeri, Aralık ayında ise en yüksek çözünmüş oksijen değeri ölçülmüştür. NH₄-N değerleri ise 0,11 mg/l ile 0,51 mg/l arasında ölçülmüştür. İlgili yönetmelikte Yüzme ve rekreasyon amacıyla kullanılan suların sağlaması gereken kalite kriterleri içerisinde sıcaklık, çözünmüş oksijen ve NH₄-N için limit değeri verilmemiştir.

Tablo 1. Deniz suyu örneklerine ait analiz ve temel istatistik sonuçları (Analysis and basic statistical results of seawater samples)

Örnek Lokasyonları		pH	T (°C)	Işık Geçirgenliği (m)	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	Toplam Koliform (CFU/ 100mL)	Fekal Koliform (CFU/ 100mL)	Fekal Streptokok (CFU/ 100mL)	
Örnek No	Koordinat									
KAŞ (K-1)	N:36°11'37.8" E:29°36'38.6"	Ocak								
		Şubat	7.72	16.5	28	8.36	0.508	10	0	0
		Mart	5.33	19	28	6.66	0.21	140	12	0
		Nisan	8.23	17	18	4.23	0.257	200	10	0
		Mayıs	8.19	21	15	7.62	0.158	700	20	0
		Haziran	8	24	20	8.12	0.134	500	10	0
		Temmuz	8.16	25.6	18	8.75	0.176	650	15	0
		Ağustos	8.23	30	19	7.44	0.108	700	12	0
		Eylül	8.2	26	19	8.1	0.212	450	23	2
		Ekim	8.5	25	19	8.16	0.246	500	17	0
		Kasım	8.8	22	19	8.8	0.27	300	0	0
		Aralık	8.75	17	19	9.1	0.31	100	0	0
		Minimum	5.33	16.50	15.00	4.23	0.11	10.00	0.00	0.00
		Maksimum	8.80	30.00	28.00	9.10	0.51	700.00	23.00	2.00
		Ortalama	8.01	22.10	20.18	7.76	0.24	386.36	10.82	0.18
Standart Sapma	0.94	4.43	4.07	1.36	0.11	249.53	8.02	0.60		
ÜÇAĞIZ (K-2)	N:36°11'64.0" E:29°50'91.8"	Ocak	-	-	-	-	-	-	-	
		Şubat	8.1	16.1	5	8.15	0.058	10	0	0
		Mart	8.12	19	5	5.9	0.311	100	21	0
		Nisan	8.27	20	5	4.37	0.29	250	10	0
		Mayıs	8.2	25	5	4.57	0.051	100	20	10
		Haziran	8.4	27	6	8.95	0.023	120	15	10
		Temmuz	8.34	28.4	5	9.12	0.035	80	25	0
		Ağustos	8.2	30	6	8.65	0.026	100	35	5
		Eylül	8.26	27	6	8.63	0.217	250	40	0
		Ekim	8.5	22	6	8.9	0.287	100	24	0
		Kasım	8.6	20	6	9.1	0.269	50	0	0
		Aralık	8.5	19	10	8.2	0.239	30	0	0
		Minimum	8.10	16.10	5.00	4.37	0.02	10.00	0.00	0.00
		Maksimum	8.60	30.00	10.00	9.12	0.31	250.00	40.00	10.00
		Ortalama	8.32	23.05	5.91	7.69	0.16	108.18	17.27	2.27
Standart Sapma	0.16	4.40	1.38	1.74	0.12	74.20	13.18	3.91		
KALE (K-3)	N:36°11'37.1" E:29°51'26.5"	Ocak	-	-	-	-	-	-	-	
		Şubat	8.18	16.5	12	7.92	0.008	25	0	0
		Mart	7.93	20	12	6.7	0.282	200	50	620
		Nisan	8.22	20	10	5.14	0.306	500	20	0
		Mayıs	8.27	24	12	4.71	0.143	800	80	0
		Haziran	7.82	27	10	5.9	0.066	700	70	0
		Temmuz	7.65	27.6	10	8.24	0.113	800	65	0
		Ağustos	8.1	31	10	7.5	0.142	850	73	0
		Eylül	8.5	27	10	7.8	0.096	1000	50	6
		Ekim	8.6	22	10	8.7	0.125	500	12	0
		Kasım	8.7	22	10	8.9	0.112	400	0	0
		Aralık	8.5	20	10	8.5	0.136	180	0	0
		Minimum	7.65	16.50	10.00	4.71	0.01	25.00	0.00	0.00
		Maksimum	8.70	31.00	12.00	8.90	0.31	1000.00	80.00	620.00
		Ortalama	8.22	23.37	10.55	7.27	0.14	541.36	38.18	56.91
Standart Sapma	0.32	4.13	0.89	1.39	0.08	301.77	30.69	178.07		

K-2 nolu örnek lokasyonu Üçağız mevkiinde, tarımsal kirlilik, evsel atıksuları ve yoğun yat turizminden kaynaklanan kirliliğin olası olduğu kıyı bölgesini temsil etmektedir. K-2 nolu lokasyondan alınan deniz suyu örneklerinde ölçülen pH değerleri 8,1 ile 8,6 arasında olup bu değerler limit değerler içerisinde kalmaktadır. Su örneklerinin sıcaklık değerleri mevsimsel sıcaklık değişimleri ile uyumlu olarak Ağustos ayında maksimum değer olan 30 °C, Şubat ayında ise minimum değer olan 16,1 °C olarak ölçülmüştür. Işık geçirgenlik değerleri limit değerlerin oldukça üzerinde olup 5 m ile 10 m arasında ölçülmüştür. Deniz suyu örneklerinin Çözünmüş oksijen değerleri 4,37 mg/l ile 9,12 mg/l arasında değişmektedir. Nisan ayında en düşük çözünmüş oksijen değeri, Temmuz ayında ise en yüksek çözünmüş oksijen değeri ölçülmüştür. K-2 nolu lokasyondan alınan deniz suyu örneklerine ait NH₄-N konsantrasyonları K-1 nolu lokasyondan alınan deniz suyu örneklerine göre daha düşük

olup 0,02 mg/l ile 0,31 mg/l arasında değişmektedir.

K-3 örnek lokasyonu Üçağz'ın batısında Kale köyü mevki kıyı bölgesini temsil etmektedir. Bu bölgede küçük bir yerleşim olmasına rağmen evsel atıksularının vidanjörler ile toplandığı ve turizm faaliyetlerinin yoğun olduğu bir bölgedir. K-3 nolu lokasyondan alınan deniz suyu örneklerinin aylık pH değerleri 7,65 ile 8,7 arasında değişmekte olup limit değerlere göre uygundur. Sıcaklık değerleri Kaş ve Üçağz kıyı bölgelerinden alınan deniz suyu örnekleri ile benzer şekilde yaz aylarında yüksek (maksimum: 31 °C), kış aylarında ise düşük (minimum: 16,5°C) ölçülmüştür. K-3 nolu lokasyondan alınan deniz suyu örneklerinin ışık geçirgenlik değerleri 10 m ile 12 m arasında olup oldukça yüksektir ve limit değerlere uygundur. Aylık çözülmüş oksijen değerleri 4,71 mg/l ile 8,90 mg/l arasında ölçülmüştür. Deniz suyu örneklerinde en düşük çözülmüş oksijen değeri Mayıs ayında, en yüksek çözülmüş oksijen değeri ise Kasım ayında ölçülmüştür. K-3 nolu lokasyondan alınan deniz suyu örneklerine ait NH₄-N konsantrasyonları ise 0,01 mg/l ile 0,31 mg/l arasında değişmektedir.

Çalışma alanında daha önce Demir (2011) tarafından elde edilen fiziksel parametre sonuçları ile bu çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında Ağustos-2009'a ait pH değerleri 8,07-8,39 iken mevcut çalışmada Ağustos-2017' de ise 8,1-8,23 arasında olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde Nisan-2009'da pH değerleri 8,01-8,24 iken mevcut çalışmada Nisan-2017' de ise 8,22-8,27 arasındadır. Bu durumda deniz suyu pH değerlerinde zamansal olarak değişim bulunmamaktadır. Her iki çalışmada elde edilen deniz suyu sıcaklıkları karşılaştırıldığında ise Ağustos-2009'a ait sıcaklık değerleri 27,50-29,50 °C iken mevcut çalışmada Ağustos-2017' de ise 27-30 °C arasında olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde Mayıs-2009'da sıcaklık değerleri 20,7-23,00 °C iken mevcut çalışmada Mayıs-2017' de ise 21,00-25,00 °C arasındadır. Zamansal olarak deniz suyu sıcaklıklarındaki değişim 1 °C artış ile sınırlıdır.

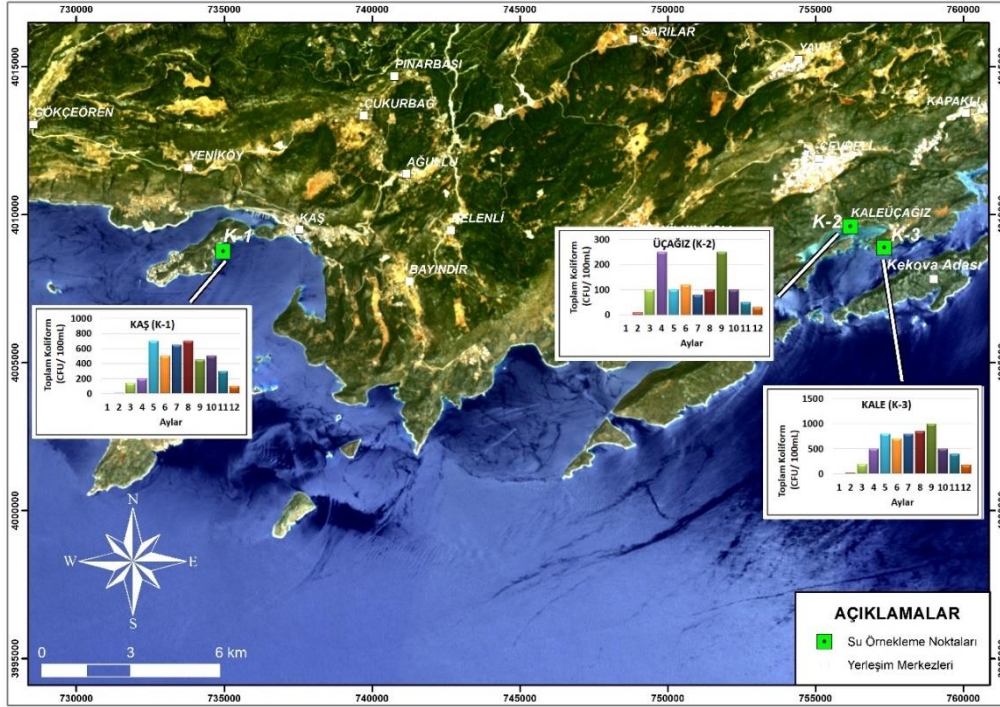
4.2. Deniz Suyunun Mikrobiyolojik Kalite Değerlendirmesi (Microbiological Quality Assessment of Sea Water)

Çalışma alanında özellikle kirlilikten etkilenebilecek kıyı bölgelerinden aylık periyod ile alınan K-1, K-2 ve K-3 nolu lokasyonlara ait deniz suyu örneklerinin Toplam Koliform (CFU/100mL), Fekal Koliform (CFU/100mL) ve Fekal Streptokok (CFU/100mL) analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca, değerlendirilen her bir deniz suyu örneğine ait aylık Toplam Koliform (CFU/100mL), Fekal Koliform (CFU/100mL) ve Fekal Streptokok (CFU/100mL) analiz sonuçlarına ait grafik dağılımları Şekil 2, 3 ve 4 de verilmiştir. K-1 nolu lokasyondan alınan deniz suyu örneklerinin aylık toplam koliform değerleri 10 CFU/100mL ile 700 CFU/100mL arasında değişmekte olup en yüksek değerler Mayıs ve Ağustos aylarında görülmektedir. Ayrıca, genel olarak deniz suyu örnekleri yaz aylarında kış aylarına nazaran daha yüksek koliform değerlerine sahiptir. Üçağz mevkiinden alınan K-2 nolu lokasyona ait deniz suyu örneklerinde en düşük 10 CFU/100mL, en yüksek 250 CFU/100mL toplam koliform ölçülürken, Kale mevkiinden alınan K-3 nolu lokasyona ait deniz suyu örnekleri en düşük 25 CFU/100mL, en yüksek 1000 CFU/100mL toplam koliform içermektedir. K-2 nolu lokasyondan Nisan ve Eylül aylarında alınan örnekler yüksek toplam koliforma sahiptir. K-3 nolu lokasyona ait örneklerden ise yaz ayları olan Mayıs-Eylül ayları arasında alınanlarda genel olarak yüksek toplam koliform tespit edilmiştir (Şekil 2). Bu durum yaz aylarında turizme bağlı olarak bölgede artan nüfus ile ilişkili olarak ortaya çıkmaktadır. Toplam Koliform parametresi için Yüzme Suyu Kalitesi Yönetmeliği ile belirlenen kılavuz değer 500 CFU/100mL, zorunlu değer ise 10000 CFU/100mL olarak belirlenmiştir. Buna göre, Kaş kıyı bölgesi deniz suyunun toplam koliform parametresi bakımından limit değerlerin altında olmasına rağmen özellikle yaz aylarında artış görülmesi nüfus artışına ve turizm faaliyetlerine bağlı olarak artan atık suların deniz suyu kalitesini olumsuz etkilediğini söylemek mümkündür.

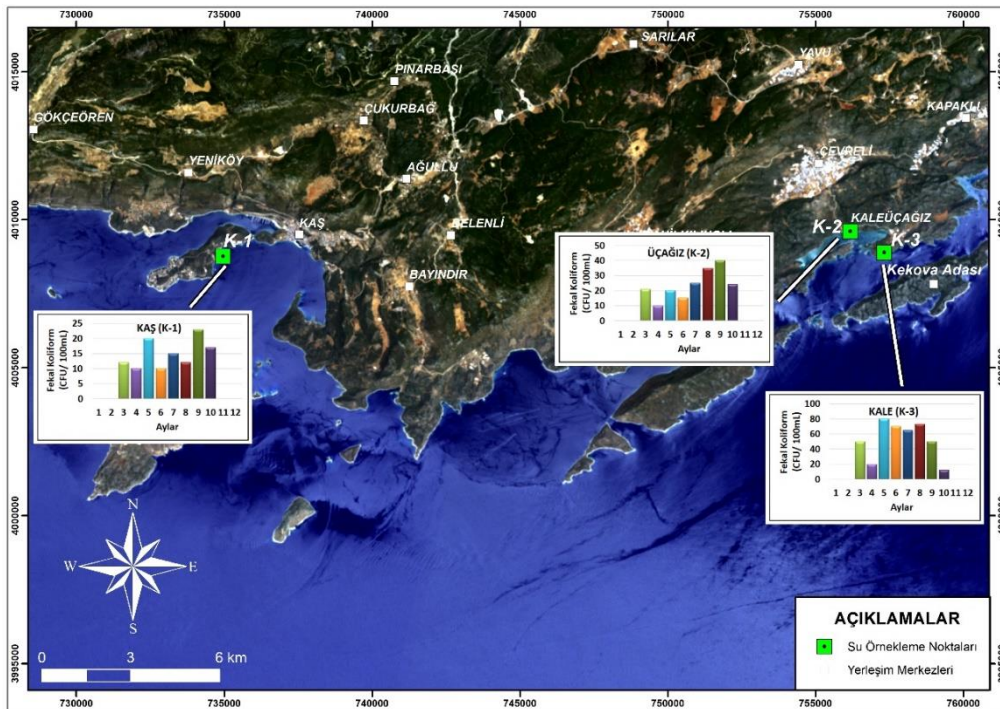
Deniz suyu örneklerinin aylık Fekal Koliform değerleri incelendiğinde, K-1 nolu lokasyondan Şubat, Kasım ve Aralık aylarına alınan deniz suyu örneklerinde fekal koliforma rastlanmazken mevsimsel olarak turizm faaliyetlerinin artış gösterdiği Mayıs-Ekim ayları arasında alınan örneklerde yüksek değerlerde (en yüksek 23 CFU/100mL) fekal koliform tespit edilmiştir. K-2 nolu lokasyondan alınan deniz suyu örneklerinde en yüksek 40 CFU/100mL, K-3 nolu lokasyondan alınan deniz suyu örneklerinde ise en yüksek 80 CFU/100mL fekal koliform ölçülmüştür. K-2 ve K-3 nolu lokasyondan alınan örneklerde K-1 nolu lokasyondan alınan örneklerde olduğu gibi Şubat, Kasım ve Aralık aylarına fekal koliform bulunmamıştır. Yüksek ölçülen aylar benzer şekilde turizm ile ilişkili nüfusun artış gösterdiği zaman aralıklarındadır (Şekil 3). Yüzme Suyu Kalitesi Yönetmeliği (Anonim, 2006) ile belirlenen fekal koliform parametresi için kılavuz değer 100 CFU/100mL, zorunlu değer ise 2000 CFU/100mL'dir. Buna göre elde edilen sonuçların tamamı limit değerlerin altında kalmakta ve yönetmelik ile belirlenen sınır koşullara uymaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen deniz suyu örneklerinin Fekal Streptokok analiz sonuçlarına göre Kaş ilçesi kıyı bölgesini temsil eden K-1 nolu lokasyondan sadece Eylül ayında alınan örnekte, Üçağz mevkiini temsil eden K-2 nolu lokasyondan Mayıs, Haziran ve Ağustos aylarında alınan örneklerde, Kale mevkiini temsil eden K-3 nolu

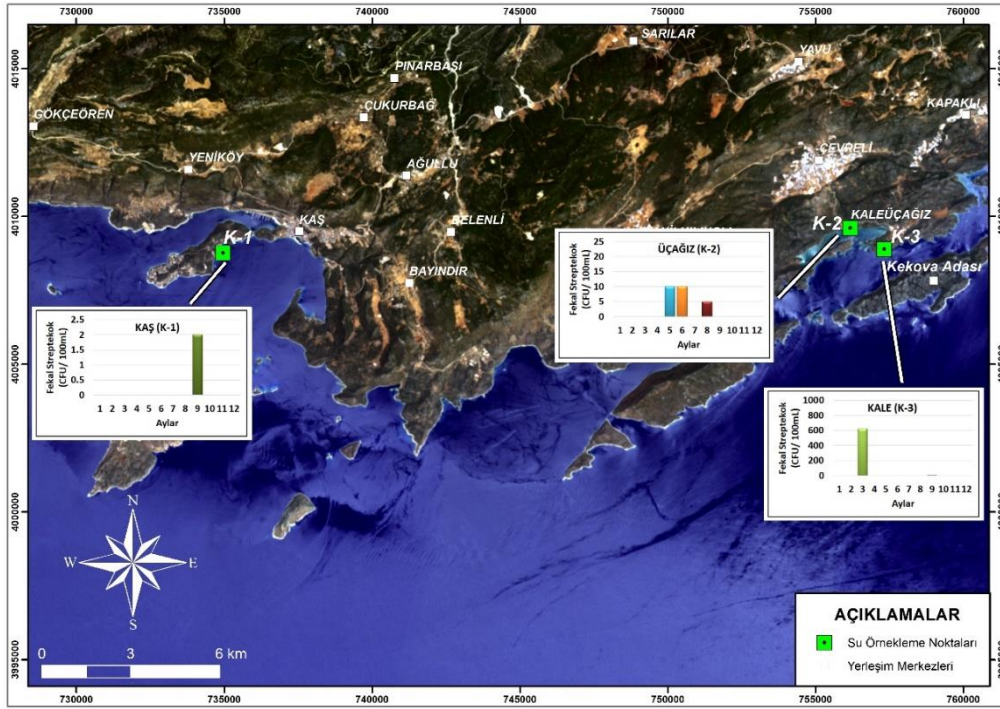
lokasyondan ise sadece Mart ve Eylül aylarından alınan örneklerde Fekal Streptokok tespit edilmiştir. K-1 nolu lokasyondan alınan örnekte 2 CFU/100mL, K-2 nolu lokasyondan alınan örneklerde en yüksek 10 CFU/100mL, K-3 nolu lokasyondan Mart ayında alınan örnekte 620 CFU/100mL, Eylül ayında alınan örnekte ise 6 CFU/100mL Fekal Streptokok bulunmuştur (Şekil 4). Kale mevkiinde Mart ayında alınan deniz suyu örneğinin diğer bölgelere ve aylara göre oldukça yüksek olması örnekleme yapıldığı zamanda bölgede lokal bir atıksu deşarjının olduğunu göstermektedir. Fekal Streptokok parametresi için Yüzme Suyu Kalitesi Yönetmeliği ile belirlenen kılavuz değer 100 CFU/100mL, zorunlu değer ise 1000 CFU/100mL olarak belirlenmiştir. Buna göre, Kaş kıyı bölgesi deniz suyunun fekal streptokok parametresi bakımından limit değerlerin altında olmasına rağmen özellikle belli aylarda artış görülmesi yine diğer mikrobiyolojik parametrelerde olduğu gibi nüfus artışı ve turizm faaliyetleri ile ilişkilidir.



Şekil 2. Deniz suyu örneklerinde ölçülen Toplam Koliform değerlerine ait dağılım grafikleri (Distribution graphics of Total Coliform values measured in seawater samples)



Şekil 3. Deniz suyu örneklerinde ölçülen Fekal Koliform değerlerine ait dağılım grafikleri (Distribution graphics of Fecal Coliform values measured in seawater samples)



Şekil 4. Deniz suyu örneklerinde ölçülen Fekal Streptokok değerlerine ait dağılım grafikleri (Distribution graphics of Fecal Streptokok values measured in seawater samples)

4.3. İstatistiksel Analiz (PCA) (Statistical Analysis (PCA))

Çalışma alanındaki deniz suyu örneklerinin 11 ay boyunca fizikokimyasal ve mikrobiyolojik kalite özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için korelasyon analizi uygulanmıştır. Yapılan bu korelasyon analizi ile suyun, fizikokimyasal bileşenleri ile mikrobiyolojik parametreleri arasındaki prosesleri hakkında bilgi edinmek mümkündür (Varol ve Davraz 2015). Korelasyon analizinin sonuçları değerlendirilirken, korelasyon katsayısı 1 veya 1'e yakınsa, iki değişken arasında iyi bir pozitif ilişki olduğu anlamına gelmektedir. Sıfıra yakın değerler $p < 0,05$ ise önemlidir. Yani, r değeri $> 0,7$ olan parametreler arasında güçlü bir korelasyon olduğu varsayılırken, r değerinin 0,5 ile 0,7 arasında orta derecede korelasyonlu olduğu söylenir (Manish vd. 2006). Bu çalışmada da fizyokimyasal parametreler ile mikrobiyolojik parametreler arasındaki potansiyel ilişkiyi değerlendirmek için "Pearson Korelasyon Analizi" (PCA) yapılmıştır. Tüm işlemler Windows için SPSS 15.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca parametreler arasındaki ilişkilerdeki değişiklikleri incelemek için Pearson korelasyon matrisi üç örnek noktası (K-1, K-2 ve K-3) için ayrı ayrı uygulanmıştır (Tablo 2, 3 ve 4).

K-1 örneği PCA sonuçlarına göre; Işık geçirgenliği ile pH arasında negatif güçlü bir korelasyon görülmektedir. $\text{NH}_4\text{-N}$ ile T ($^{\circ}\text{C}$) arasında ise yine negatif orta dereceli korelasyon söz konusudur. K-1 örneği için mikrobiyolojik parametrelerden Toplam koliform ile T ($^{\circ}\text{C}$) arasında pozitif yönlü ve güçlü bir korelasyon olduğu, Toplam koliform ile $\text{NH}_4\text{-N}$ arasında ise negatif ve güçlü bir korelasyon olduğu görülmektedir. Mikrobiyolojik parametrelerden yine Fekal Koliform ile $\text{NH}_4\text{-N}$ arasında negatif orta dereceli korelasyon bulunurken Fekal Koliform ile Toplam koliform arasında ise pozitif ve orta dereceli korelasyon bulunmaktadır (Tablo 2). Bu durum örnekleme noktasında mevsimsel sıcaklık artışına bağlı mikrobiyolojik göstergelerde artış olduğunu ve kirlenmenin daha fazla olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde bu lokasyonda suyun ışık geçirgenliği azaldıkça suyun pH değeri de artmaktadır. Bunun yanısıra mikrobiyolojik parametrelerden Fekal koliform ile $\text{NH}_4\text{-N}$ arasındaki negatif ilişki $\text{NH}_4\text{-N}$ 'in fekal koliform türü bakteriler tarafından kullanıldığını göstermektedir. Yine toplam koliform bakteri sayısı örnekleme dönemi boyunca Fekal Koliform bakteri sayısına bağlı olarak artış göstermektedir. Bunun sonucunda ortamda sıcaklığın artışına bağlı olarak mikrobiyolojik parametrelerde de artış söz konusudur. Ayrıca bu örnek noktasında ortaya çıkan $\text{NH}_4\text{-N}$ ile T ($^{\circ}\text{C}$) arasındaki negatif korelasyon deniz içine evsel atık ve tarımsal atıklarla kirlenmenin olabileceğini bunun da özellikle deniz suyu sıcaklığının daha düşük olduğu dönemlerde $\text{NH}_4\text{-N}$ artması şeklinde ortaya çıktığı düşünülmektedir.

K-2 örneği PCA sonuçlarına göre; Işık geçirgenliği ile pH arasında negatif ve orta dereceli korelasyon söz konusudur. $\text{NH}_4\text{-N}$ ile T ($^{\circ}\text{C}$) arasında ise yine negatif orta dereceli korelasyon görülmektedir. K-2 örneği için mikrobiyolojik parametrelerden Fekal koliform ile T ($^{\circ}\text{C}$) arasında pozitif ve güçlü bir korelasyon, Fekal Streptokok ile $\text{NH}_4\text{-N}$ arasında ise negatif orta dereceli korelasyon olduğu görülmektedir (Tablo 3). K-3 örneği PCA sonuçlarına göre; mikrobiyolojik parametrelerden Toplam koliform ile T ($^{\circ}\text{C}$) arasında pozitif ve güçlü bir korelasyon

bulunmaktadır. Ayrıca Fekal Koliform ile T (°C) arasında pozitif yönlü ve orta dereceli bir korelasyon varken Çözünmüş Oksijen (ÇO) ile negatif orta dereceli korelasyon olduğu görülmektedir. Buna ek olarak Fekal Koliform ile Toplam koliform arasında da pozitif ve güçlü bir korelasyon bulunmaktadır (Tablo 4). K2 ve K3 no'lu lokasyonlardan alınan örneklerde de K1 numaralı örneğe ait parametreler arasındaki ilişki görülmektedir. Bu örnekleme noktasında da mevsimsel sıcaklık artışına bağlı mikrobiyolojik göstergelerde artış olduğunu ve kirlenmenin daha fazla olduğu dikkati çekmektedir. Ayrıca K2 ve K3 noktalarında da NH₄-N ile T (°C) arasındaki negatif korelasyon deniz içine evsel atık ve tarımsal atıklarla kirlenmenin olabileceğini bunun da özellikle deniz suyu sıcaklığının daha düşük olduğu dönemlerde NH₄-N artması şeklinde ortaya çıktığını düşündürmektedir.

Tablo 2. K-1 Deniz suyu örneğine ait PCA (Pearson Korelasyon Analizi) sonuçları (PCA (Pearson Correlation Analysis) results of K-1 seawater sample)

			pH	T	Işık Geçir.	ÇO	NH ₄ -N	Top. Koli.	Fekal Koli.	Fekal Strep.
KAŞ (K1)	pH	r	1,000							
		p								
	T	r	0,220	1,000						
		p	0,516							
	Işık Geçir.	r	-0,726	-0,391	1,000					
		p	0,011	0,235						
	ÇO	r	0,322	0,256	-0,018	1,000				
		p	0,333	0,448	0,957					
	NH ₄ -N	r	0,026	-0,689	0,557	0,138	1,000			
		p	0,938	0,019	0,075	0,686				
	Top. Koli.	r	0,289	0,827	-0,672	0,134	-0,795	1,000		
		p	0,388	0,002	0,024	0,694	0,003			
	Fekal Koli.	r	-0,117	0,549	-0,391	-0,201	-0,620	0,684	1,000	
		p	0,731	0,080	0,235	0,554	0,042	0,020		
	Fekal Strep.	r	0,067	0,292	-0,096	0,084	-0,071	0,085	0,504	1,000
		p	0,845	0,383	0,778	0,807	0,836	0,805	0,114	

Çalışma alanındaki deniz suyu örneklerinde yapılan PCA sonuçları birlikte değerlendirildiğinde özellikle sıcaklık (°C), pH, antropojenik girdilerin bir göstergesi olan NH₄-N ve mikrobiyolojik parametreler arasında anlamlı ilişkiler söz konusudur. Bu durum örnek noktalarındaki mevsimsel sıcaklık artışı ve antropojenik etkilerle mikrobiyolojik kirlilik parametrelerindeki artışı göstermektedir.

Tablo 3. K-2 Deniz suyu örneğine ait PCA (Pearson Korelasyon Analizi) sonuçları (PCA (Pearson Correlation Analysis) results of K-2 seawater sample)

			pH	T	Işık Geçir.	ÇO	NH ₄ -N	Top. Koli.	Fekal Koli.	Fekal Strep.
ÜÇAĞIZ (K2)	pH	r	1,000							
		p								
	T	r	0,099	1,000						
		p	0,772							
	Işık Geçir.	r	-0,636	0,147	1,000					
		p	0,035	0,667						
	ÇO	r	0,584	0,494	0,422	1,000				
		p	0,059	0,122	0,196					
	NH ₄ -N	r	0,100	-0,654	-0,121	-0,418	1,000			
		p	0,769	0,029	0,724	0,201				
	Top. Koli.	r	-0,068	0,458	-0,046	-0,219	0,047	1,000		
		p	0,843	0,157	0,892	0,517	0,892			
	Fekal Koli.	r	-0,230	0,753	-0,020	0,211	-0,229	0,527	1,000	
		p	0,495	0,007	0,953	0,533	0,497	0,096		
	Fekal Strep.	r	-0,166	0,508	0,038	-0,017	-0,696	0,277	0,141	1,000
		p	0,625	0,110	0,911	0,959	0,017	0,410	0,680	

Tablo 4. K-3 Deniz suyu örneğine ait PCA (Pearson Korelasyon Analizi) sonuçları (PCA (Pearson Correlation Analysis) results of K-3 seawater sample)

			pH	T	Işık Geçir.	ÇO	NH ₄ -N	Top. Koli.	Fekal Koli.	Fekal Strep.
KALE (K3)	pH	r	1,000							
		p								
	T	r	-0,284	1,000						
		p	0,397							
	Işık Geçir.	r	-0,194	-0,458	1,000					
		p	0,567	0,156						
	ÇO	r	0,478	-0,092	-0,387	1,000				
		p	0,137	0,788	0,239					
	NH ₄ -N	r	-0,018	-0,115	0,129	-0,427	1,000			
		p	0,958	0,736	0,705	0,190				
	Top. Koli.	r	-0,160	0,891	-0,357	-0,324	0,041	1,000		
		p	0,638	0,000	0,282	0,331	0,905			
	Fekal Koli.	r	-0,546	0,730	0,098	-0,690	0,262	0,767	1,000	
		p	0,082	0,011	0,774	0,019	0,436	0,006		
	Fekal Strep.	r	-0,074	-0,075	0,287	-0,162	0,121	0,095	0,075	1,000
		p	0,828	0,826	0,392	0,635	0,722	0,782	0,826	

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Ülkemizin en önemli turizm bölgelerinden biri olan Antalya iline bağlı Kaş ilçesinde özellikle yaz aylarında ciddi nüfus artışı gerçekleşmektedir. Çalışma alanı, Kaş-Kekova ÖÇKB içerisinde yer alması sebebiyle de bölgede kirlilik kontrolünün sağlanması ve deniz suyu kalitesinin izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada Kaş ilçesi kıyı bölgelerinde özellikle turizm (yüzme, tekne ve yat turizmi) ve tarımsal faaliyet kaynaklı kirlilikten etkilenebilecek üç farklı bölgeden aylık periyodlarla deniz suyu örnekleri alınmıştır. K-1 nolu örnek lokasyonu Kaş ilçesi Çukurbağ yarımadasının güney kıyısında Kaş Atık su arıtma tesisinin derin deşarjının yapıldığı denizel bölgeyi; K-2 nolu örnek lokasyonu Üçağz mevkiinde yoğun yat turizminin ve tekne turlarının yapıldığı bölgeyi ve K-3 nolu örnek lokasyonu Kale mevkiinde yine tekne ve yat turizminin etkin olduğu bölgeyi temsil etmektedir. Deniz suyu örneklerinin 11 ay boyunca fizikokimyasal ve mikrobiyolojik parametreleri analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar ilgili yönetmelik ile belirlenen limit değerlere, aylık değişimlerine ve istatistik analiz sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, deniz suyu örneklerinin tamamı fizikokimyasal ve mikrobiyolojik parametreler bakımından limit değerlere uygundur ve kirlilik söz konusu değildir. Aylık değişimlerine bakıldığında genel olarak nüfusun ve turizm faaliyetlerinin artış gösterdiği yaz aylarında özellikle fekal indikatörlerden Toplam Koliform, Fekal Koliform ve Fekal Streptokok değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Yine yaz aylarında deniz sularının çözünmüş oksijen miktarları ve ışık geçirgenliği değerleri düşük değerlerdedir. Pearson Korelasyon Analizine göre deniz suyu örneklerinin sıcaklık (°C), pH, özellikle evsel atık suların ve antropojenik kirliliğin göstergesi olan NH₄-N ve mikrobiyolojik parametreler arasında anlamlı ilişkiler belirlenmiştir. Limit değerlere göre Kaş kıyı bölgesi özellikle mikrobiyolojik parametreler bakımından genel olarak kirlilik taşımamakta ve bölgede deniz suyu kalitesi iyi durumdadır. Kaş bölgesinde faaliyet gösteren Kaş atık su arıtma tesisinin genel olarak aktif çalıştığı ve deniz suyu kalitesinin korunmasında etkili olduğu görülmektedir. Üçağz ve Kale köylerinde ise özellikle evsel atık sular vidanjör ile toplanmakta ve atık toplama teknesi ile Demre depolama alanına transfer edilmektedir. Bunun yanı sıra çalışmada elde edilen sonuçlara göre tüm lokasyonlarda özellikle NH₄-N ve mikrobiyolojik parametrelerdeki nispi artış deniz suyuna antropojen kaynaklı girdilerin olabileceğini de göstermektedir. Bu nedenle atık suların denize karışmaması için azami gayretin ve gerekli durumlarda kontrollerin yapılması zorunlu görülmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmada kullanılan analiz sonuçları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü adına "Kaş-Kekova Özel Çevre Koruma Bölgesi Biyolojik Çeşitlilik Araştırma Projesi" kapsamında DSİ 13. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Yazarlar, projeyi finansal olarak destekleyen Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ve analiz sonuçlarını sağlayan DSİ 13. Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Anonim, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete Tarih ve Sayısı: 17.02.2005/ 25730, T.C.Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, 2006. Yüzme Suyu Kalitesi Yönetmeliği (76/160/AB), Resmi Gazete Tarih ve Sayısı: 09.01.2006/ 26048, T.C.Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme Genel Müdürlüğü Ankara.
- Anonim, 2012. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği, Resmi Gazete Tarih ve Sayısı: 09.01.2006/ 28488, T.C.Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, 2016. "Belek, Patara, Kaş-Kekova, Fethiye-Göcek, Göksu Deltası, Tuz Gölü, Foça, Gölbaşı, Köyceğiz-Dalyan, Datça-Bozburun, Gökova, Ihlara, Uzungöl Ve Saros Körfezi Özel Çevre Koruma Bölgeleri'nde Su Kalitesinin İzlenmesi Ve Özel Çevre Koruma Bölgeleri'nde İşletilmekte Olan Atıksu Arıtma Tesislerinin Verimliliğinin İzlenmesi Projesi", T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü ve Artek Mühendislik Çevre Ölçüm ve Danışmanlık Hizmetleri Ticaret Anonim Şirketi işbirliği, Ankara.
- Arıman, S., Koyuncu, S., (2019). Su Kirliliği Açısından Hassas Alanların İzlenmesi: Kızılırmak Deltası-Balık Gölü, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 705-714.
- Baran, M.A., 2017. Dünyanın Mevcut Su Potansiyeli ve Deniz Suyu Arıtımı. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, (45), 71-84.
- Bayarı, S., Özyurt, N., Hamarat, S., Baştanlar, Y., Varinlioğlu, G., 2006. Türkiye Kıyıları Tatlı Su Boşalmalarının Geri Kazanılması: Patara-Tekirova Pilot Projesi, TÜBİTAK Projesi, ÇAYDAG-103Y025.
- Demir, V., 2011. Kaş (Antalya) Deniz Koruma Planlamasında Karar Destek Sistemleri Kullanılarak Biyoçeşitlilik Araştırması, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Doktora Tezi, 93 sayfa, İstanbul.
- Elhatib, H., 1992. Hydrogeological investigation of Kas-Kalkan Area and its vicinity, (Doctoral dissertation, PhD Thesis, Hacettepe University Ankara, Turkey).
- Gurun, S., ve Kımırın, E.A., 2013. Ayamama Deresi'nin Marmara Denizi'ne deşarj alanındaki bakteriyolojik kirlilik düzeyinin incelenmesi. *Ekoloji*, 22(86), 48-57.
- Gürün, S., ve Altuğ, G., 2013. Güllük Körfezi'nde Bakteriyolojik Kirlilik Ve Metabolik Olarak Aktif Bakteri Düzeyi. Güllük Körfezi Bakteriyolojisi, Güllük Körfezi Bakteriyolojisi TÜBİTAK Proje Çalıştayı, çalıştay kitabı sayfa 10-15, 10 Mayıs 2013, Güllük, MUĞLA.
- KKÖÇKR, 2019. Kaş-Kekova Özel Çevre Koruma Bölgesi Biyolojik Çeşitlilik Araştırma Projesi, Kesin Raporu, T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü, 557 Sayfa, Temmuz, 2019, Ankara.
- Kumlutaş, Y., Durmuş, S.H., Ilgaz, Ç., 2011. Kaş-Kekova Özel Çevre Koruma Bölgesi'nin Herpetofaunası. *Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi* 2(1): 28-33.
- Manish, K., Ramanathan, A., Rao, M.S., Kumar, B., 2006. Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. *J Environ Geol* 50:1025-1039.
- Ornat, A. L., Göktan, S., Kalem, S., Tural, U., Akça, N., Araç, N. Ve Oruç, A. (2013). Kaş-Kekova Özel Çevre Koruma Bölgesi Denizel Yönetim Planı (2014-2017). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, WWW-Türkiye, WWW Akdeniz Program Ofisi İş Birliğinde Güney Medpan Türkiye Pilot Projesi (2009-2013), 1-67.
- Özsoy, S., 2009. Su ve yaşam: suyun toplumsal önemi. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Y. Lisans Tezi: 200 sayfa, Ankara.
- Öztan, M., Baştanlar, Y., Varinlioğlu, G., Hamarat, S., Ülkenli, H., Özyurt, N., Bayarı, S., 2004a. Patara-Kekova Tatlı Su Boşalmalarının ve Denizaltı Mağaralarının Araştırılması, Türkiye Kıyıları 04, Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları V. Ulusal Konferansı, 4-7 Mayıs 2004 Adana, Bildiriler Kitabı (Editörler: E.Özhan, H. Evliya) Cilt 2, 815-824.
- Öztan, M., Hamarat, S., Bayarı, S., Ülkenli, H., Özyurt, N., Baştanlar, Y., Varinlioğlu, G., 2004b. Kaş dolayı kıyı kuşağında karstlaşmanın gelişimi: Mivini ve Altuğ denizaltı mağaraları Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları V. Ulusal Konferansı, 4-7 Mayıs 2004 Adana.
- Pisoni, C., 1967. Kaş (Antalya ili) bölgesinin jeolojik etüdü. *MTA Ens. Derg*, 69, 42-49.
- Şenel, M., 1997a. 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:6 Fethiye-M10-M11 Paftaları. MTA Gn. Md. Jeol. Etüt. Dair. Ankara.
- Şenel, M., Bölükbaşı, A.S., 1997b. 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:5 Fethiye-M9 Paftası. MTA Gn. Md. Jeol. Etüt. Dair. Ankara.
- Şener, Ş., Taştekin, N., (2019). Beyşehir (Konya) Ovasının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelemesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(3), 647-661.
- Taşpınar, B., Verep, B., Terzi, E., Çetindemir, D., 2015. Rize ili kıyı şeridinde bakteriyolojik kirliliğin araştırılması. *Aquaculture Studies (Eski Yunus Araştırma Bülteni)*, 15(2).
- Terzi, Ö. ve Sünter, A.T., 2019. Atakum Sahilindeki deniz suyu kalitesinin değerlendirilmesi, 2016. *Turkish Bulletin of Hygiene & Experimental Biology/Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji*, 76(3).
- Tezel, D., 2018. Kaş-Kekova (Antalya) bölgesi flora ve fauna duyarlılığı üzerine ekolojik koridorların mekansal veri analizi ile belirlenmesi (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), 164 sayfa, Konya.
- Ulusoy, K., 2007. Küresel Ticaretin Son Hedefi: Su Pazarı, Kristal Kitaplar Yayınevi, Ankara.
- Varol S, Davraz A., 2015. Evaluation of the groundwater quality with WQI (water quality index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). *Environ Earth Sci* 73:1725– 1744.
- Varol S., Küçük, M., Davraz A., Şener Ş., Şener E., Aksever F., Kırkan B., Tokgözlü A., (2020). Salda Gölü Havzası Güneyinin (Yeşilova/Burdur) Hidrojeolojisi ve Hidrojeokimyasal Özelliklerinin İncelemesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(1), 74-90.
- Verep, B., Serdar, O., Turan, D. ve Şahin, C., 2005. İyidere (Trabzon)'nin Fiziko-Kimyasal Açından Su Kalitesinin Belirlenmesi. *Ekoloji Dergisi*, 14(57): 24-35.



A BI-LEVEL ALGORITHM PROPOSAL FOR THE INITIAL PLANNING OF FEEDER BUS ROUTES

Hassan Shuaibu ABDULRAHMAN^{1*}, Mustafa ÖZUYSAL²

¹ The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Dokuz Eylül University, Izmir, Turkey

² Department of Civil Engineering, Dokuz Eylül University, Izmir, Turkey

Keywords	Abstract
<i>Feeder Bus Routes Planning, Multiple Traveling Salesman Problem, Genetic Algorithm.</i>	A sustainable urban transportation system uses different classes of transportation modes whose services should be well integrated. The Feeder Bus Route Network Problem (FBRNDP) is an important part of this integration. FBRNDP primarily deals with the provision of access to an existing mainline movement through feeder transit system usually to expand it's the service coverage. The multiple traveling salesman problem (MTSP) has similar properties with FBRNDP, thus, making the formulation of MTSP to be adoptable for feeder bus routes. In this study, a bi-level heuristic algorithm is developed to solve this problem by clustering demand nodes around nearest destination and using genetic algorithm (GA) based on fixed start MTSP to optimize the shortest distance the salesmen will have to travel to cover the service area. The algorithm compares well to the results of a case study found in literature and shows a promising way of designing feeder bus routes strictly based on the shortest distance and variation of the number of routes required. The proposed method can be useful in the initial planning of an integrated transit system and it may serve as a seed solution in a multi-objective optimization.

BESLEYİCİ OTOBÜS ROTALARININ ÖN PLANLAMASI İÇİN İKİ DÜZEYLİ BİR ALGORİTMA ÖNERİSİ

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Besleyici Otobüs Rota Planlaması, Çoklu Seyahat Satıcısı Sorunu, Genetik Algoritma.</i>	Sürdürülebilir bir kentsel ulaşım sisteminin, hizmetleri iyi entegre edilmesi gereken farklı ulaşım türlerini kullanması gerekmektedir. Besleyici Otobüs Rotası Ağ Tasarım Problemi (BORATP) bu entegrasyonun önemli bir parçasıdır. BORATP öncelikle hizmet kapsamını genişletmek için besleyici transit sistemi aracılığıyla mevcut bir ana hat hareketine erişim sağlanması ile ilgilidir. Çoklu seyahat eden satıcı problemi (ÇSESP), BORATP'ye benzer özellikler içermektedir ve bu nedenle ÇSESP formülasyonu besleyici otobüs rotalarının optimizasyonu için kullanılmaya uygundur. Bu çalışmada, BORATP'nin çözümü için talep noktalarını en yakın hedef etrafında kümeleyen ve satıcıların hizmeti kapsamaları için seyahat etmesi gereken en kısa mesafeyi sabit başlangıçlı ÇSESP'ye dayalı bir genetik algoritma (GA) kullanarak optimize eden iki seviyeli deneysel bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritma, literatürde bulunan bir vaka çalışmasının sonuçlarıyla karşılaştırılarak ve iyi bir uyum sağladığı görülmüş ve gerekli olan rota sayısının en kısa mesafesine ve varyasyonuna dayanarak besleyici otobüs güzergahları tasarlamak için cazip bir yöntem olduğu ortaya konmuştur. Önerilen yöntem, entegre bir toplu ulaşım sisteminin ilksel planlamasında yararlı olabilecek ve çok amaçlı bir optimizasyonda bir başlangıç çözümü olarak kullanılabilir.

Alıntı / Cite

Abdulrahman, H. S., Özuysal, M., (2020). A Bi-level Algorithm Proposal for The Initial Planning of Feeder Bus Routes, Journal of Engineering Sciences and Design, 8(3), 766-776.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
H. S. Abdulrahman, 0000-0002-5960-0321	Başvuru Tarihi / Submission Date
M. Özuysal, 0000-0002-3276-3075	Revizyon Tarihi / Revision Date
	Kabul Tarihi / Accepted Date
	Yayın Tarihi / Published Date

* İlgili yazar / Corresponding author: ahas92@yahoo.com, +90-534-841-83-63

1. Introduction

Utilizing urban transportation infrastructure in the most efficient way has been the main purpose of sustainable engineering-oriented studies in recent years (Başkan et al. 2019, Yaslı and Güvensan 2019, Erkan 2014). Modern metropolitan areas usually have a high transit demand, which is widely spread, across the entire city. This requires harnessing the advantages of different types of mass transportation systems, which is typical of a modern developed city like Izmir in Turkey. With multiple transportation systems, comes the challenge of integrating the various operations to develop a sustainable transit system that is more cost-effective and efficient. Mainline (rapid transit) often has a considerably larger capacity and relatively higher speeds, thus, it can function as a major transport corridor but may create problems of accessibility especially to residential areas where the demand normally originates. In the same way, a feeder bus system with lower capacity and speed can provide access services closer to the residential demand. Therefore, a simple form of intermodal transit system may consist of an integrated mainline movement which may be a rapid transit line and a lesser transit system called a feeder (bus) connecting the service areas (residential) to the transfer stations where their journey will continue on the mainline. The service coverage of the rail systems is expected to expand and an improvement in the utilization of different public transportation modes overall. Some of the main advantages of an integrated transit system include; reducing costs and increasing revenues, eliminating duplication of services, reduced travel times and access costs, and consequently a better overall quality of service of the system (Kuan et.al. 2004). Therefore, the planning and design of a set of connecting bus routes for the provision of access between residential areas to a train station can be defined as Feeder Bus Route Network Design Problem (FBRNDP), in other words, it is the determination of feeder-bus routes consisting of stations, route structures and the operating frequency (Kuah and Perl, 1989). An example of this scenario is common with rush hour to work trips to the city centers in the mornings. In modeling terms, most passengers can be assumed to go to a common place (central city station or central business district). Therefore, passengers aggregated at bus stops in the service area who wish to connect to CBD will do so by using a lesser mode say a bus to connect to any of the train stations going to the city center. Routing problems are generally concerned with finding the shortest tour amongst locations and consequently making a route network. Tour construction problems as a way of classification fall under two classes: Travel Salesman Problem (TSP), Bus (vehicle) routing as depicted in Figure 1 below (Eldrandy, et.al. 2008). Vehicle routing problem (VRP) is a problem of obtaining the maximum set of possible routes constrained by the number of available vehicles to deliver to a given set of customers to a particular destination, and it is composed of many variants such as capacitated VRP. But, when the vehicle capacity in this problem is assumed to be sufficiently large enough such that the vehicle capacity does not become a constraint, then the problem is the same as the MTSP. Similarly, MTSP is also a general form of the TSP in which multiple salesmen are allowed to visit a set of cities with a minimized cost, constrained by visiting each city once, and by one salesman. Therefore, the mathematical formulations and solution approaches of the above-mentioned problems may be utilized for MTSP (Bektas, 2006). These problems can be used in areas such as; planning of bus routes, in case of emergencies, movement around cities and towns, and tourism.

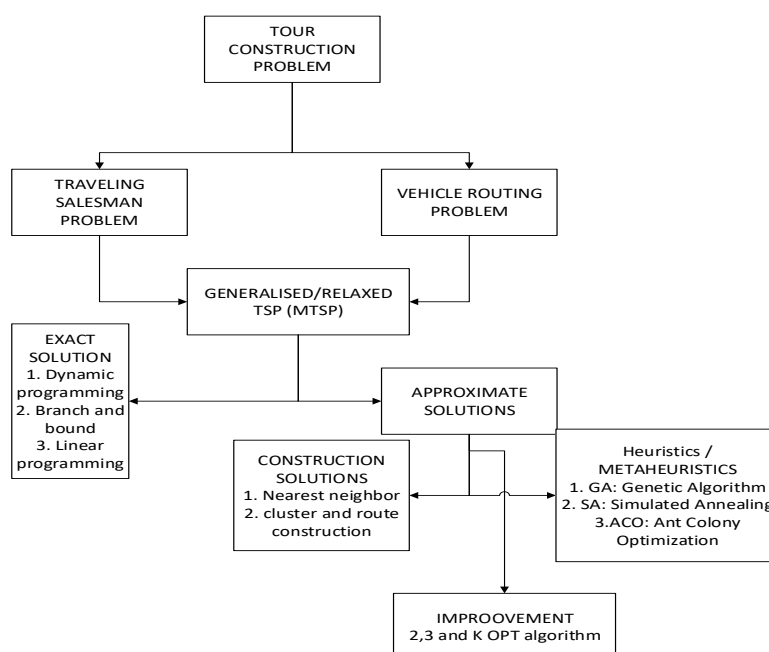


Figure 1. Classification of Tour Construction Problems

2. Literature Review

FBRNDP is a routing kind of problem which may be comparable to other routing problems like multiple traveling salesman problem (MTSP) because they both belong to a group of NP-hard combinatorial optimization which is usually solved using greedy exhaustive search even though a huge amount time is involved. While for small instances of these problems it may be solved exactly, a simple TSP solution with 30 cities can take an unimaginable time to solve for all possible routes to be evaluated. Therefore, a kind of intelligent algorithm which gives a good solution, but not necessarily optimal solution may be required. The FBRNDP falls under large routing formulations that can only be solved satisfactorily by a heuristic, metaheuristic (GA, SA, ACO) and sometimes a combination of solution approaches (Kuah and Perl, 1989; Kuan et al. 2006). FBRNDP and MTSP being similar, allows us to adopt an existing heuristics solution used for the MTSP. Please see Figure 1 for the classification of the techniques. Exact algorithms are successfully used only for relatively small problem sizes and they are known to guarantee an optimum solution. As the size of the problem expands the solution may be stuck in local optima making it inefficient. Examples of exact solutions are dynamic programming, branch and bound, linear programming, etc. Similarly, for larger problems such as TSP with a large number of cities, approximate approaches are used to solve this type of problem in a feasible time. These approaches are mainly concerned with finding a solution near-the optimal tours rather than the optimal tour in a shorter time. For background information on solution methods used in solving large problems refer to the work of Eldrandy et al. 2008.

In this study, we are particularly interested in using GA. They are search algorithms that copy the way populations evolve genetically through natural selection (Goldberg, 1989). This evolution is quite simple as it starts from a randomly generated sample space of strings, each string in the sample space is then evaluated through a fitness function, and consequently acted upon by GA operators which create a better population repeatedly through reproduction, crossovers, and mutation. The iteration of GA may be stopped by using a termination criterion (e.g. number of iteration, crossover, mutation probability) because with a better population a better solution is expected. Some of its advantages are;

1. GA directly searches from the potential solutions and the objective function themselves, not their derivatives which is used by exact approaches which makes it suitable for application in real-life problems like routing problems.
2. Extensive algorithms have been developed using GA, even though they may not guarantee optimal solution but with manipulation of population, iterations, high crossover rate, low mutation rate, the probability of GA solutions will tend towards an optimal solution.
3. Also, GA is very popular especially in academic researches because of its implementation and its rigorous ability in solving practical engineering problems.

These reasons amongst others make GA a competitive algorithm in solving routing and NP-hard problems. As highlighted by Karakatic and Podgorelec, 2015, claimed that, GA used in solving VRP has been on the increase considering publications written on the subject matter from 1993 to 2012. Perhaps the first work to deal with MTSP using GA is by Zhang et al. 1999, who worked on team schedules. Tang et al. (2000) developed a GA for hot rolling scheduling and the algorithm was able to solve both TSP and MTSP. Many research done with regards to GA and MTSP mainly focus on the vehicle scheduling problem using the different variants such as vehicle capacities, time windows and fixed number salesman with no constraints on the length of the routes (Park, 2001). Also in further development by Yu et al., 2002, also implemented the same algorithm in the planning of paths for cooperative mobile robots. Sometimes the solution search space becomes so large with redundant solutions, Carter and Ragsdale 2006, developed an effective approach to cater to these problems using GA. Kiraly and Abonyi, 2011, proposed a novel interpretable representation-based algorithm for MTSP using GA. Similarly, a modified GA was used to solve MTSP as presented by Varunika et al., 2014. A good review of the solving MTSP using GA can be found in Singh, 2016. The research by authors Aristeguieta et al. 2006 states that GA with limited computer power performs reasonably well when compared to other metaheuristics even though some of them yield better results.

Problems involving designing transit routes (TRNDP) are large problems, therefore, the use of flexible and practical heuristic methods is common in literature. TRNDP is usually partitioned in a sequence of procedures to be manageable. Two major approaches are used; heuristics to generate routes and subsequently improving them and direct route construction and improvement using metaheuristics (Kepaptsoglou, & Karlaftis, 2009). In essence, FBRNDP can be solved by applying heuristic algorithms to build initial routes, followed by the improvement of these initial routes using an optimization technique. One of the earliest heuristics is the sequential saving approach used for solving a vehicle routing problem with multi depots (Kuan et al., 2004). For generating feeder bus routes based on demand matrix a heuristic was proposed by Shrivastav and Dhingra, 2001 which they claimed performs better than algorithms they compared it to. Also, metaheuristics like GA have been used to randomly generate an initial population even though it makes the optimum solution elusive and unstable as suggested by Chien et al.

2001. Therefore, to improve the randomness of the solutions that can be generated, the concept of the delimiter algorithm was used (Kuan et.al., 2006)

The focus of this work is on the preliminary design of bus routes connecting to train stations using a two-level algorithm process. It includes a clustering algorithm which attributes sparsely distributed stops to a particular station and consequently solving the FBRNDP as MTSP using GA. For this algorithm to work the following assumptions were made:

1. Individual bus stops can only be assigned to a feeder bus route.
2. Similarly, feeder-bus routes generated from a cluster of bus stops can only be attached to a train station closest to it.
3. The capacity and speed of the buses are constant.

Subsequent sections discuss the bi-level algorithm for planning feeder bus routes methodology, the discussion of results and finally, conclusion and recommendations

3. Proposed Methodology Bi-level Algorithm for Planning Feeder Bus Routes

We present FBRNDP as a representation of MTSP. The problem is solved in two distinct but related levels. The first problem is a clustering problem which deals with subdividing the list of n cities into k cluster groups. The second problem deals with the optimization of the shortest paths for k cluster. Although, it is possible to generate routes first then and then cluster but this approach performs poorly (Eldrandy,2008). The approach of clustering first and route construction was adopted.

1. Clustering and classifying of bus stops by assigning them to particular train stations.
2. MTSP based genetic algorithm is implemented to find feeder bus routes

3.1. Clustering

With known points, K nearest neighbor (KNN) algorithm predicts the specified K closest neighbors to that point. Therefore, to make predictions with KNN, there are different metrics used for measuring the distance between the query point and the cases from the sample. Some of the most popular choices are; Euclidean, Euclidean squared, City-block, and Chebyshev. In this study, Chebyshev distance metric is used, it is also known as maximum value distance and is computed as the absolute magnitude of the differences between the coordinate of a pair of objects is used. It examines the absolute magnitude of the differences between the coordinates of a pair of objects.

Let $B = \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_n\}$ be the set of bus stop points and $C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_n\}$ be the set of train station.

1. Select 'c' cluster centers.
2. Calculate the distance between each data point and cluster centers using the distance metric as follows

$$\text{Dist } BC = \max(B_{ik} - B_{jk}) \tag{1}$$

Where B_{ik} and B_{jk} are coordinates of pair (query point and other samples). The pseudo flow chart of clustering algorithm is given in Figure 2.

3.2. MTSP based GA

Consider a graph $Z = (D, F)$, where D is the set of n vertices, and F is the set of edges. Associated with each edge $(i, j) \in F$ is a cost (or distance) T_{ij} . Assuming the starting point is the first vertex and there are h salesmen at the vertex. The variable X_{ij} (takes the value 1 if edge (i, j) is included in a tour and x_{ij} takes the value 0 otherwise) can be defined for each edge $(i, j) \in F$. General formulation of MTSP is presented below (Arostequi Jr, 2006).

OBJECTIVE:
$$\text{Minimize } \sum_{(i,j) \in A} T_{ij} X_{ij} \tag{2}$$

CONSTRAINTS:

h salesmen leave vertex 1
$$\sum_{j \in D: (1,j) \in F} X_{1,j} = h \tag{3}$$

h salesmen return back to vertex 1 $\sum_{j \in D:(j,1) \in F} X_{j,1} = h$ (4)

one route enters each vertex $\sum_{i \in D:(i,j) \in F} X_{1,j} = 1, \forall j \in D$ (5)

one route exits each vertex $\sum_{j \in D:(i,j) \in F} X_{1,j} = 1, \forall j \in D$ (6)

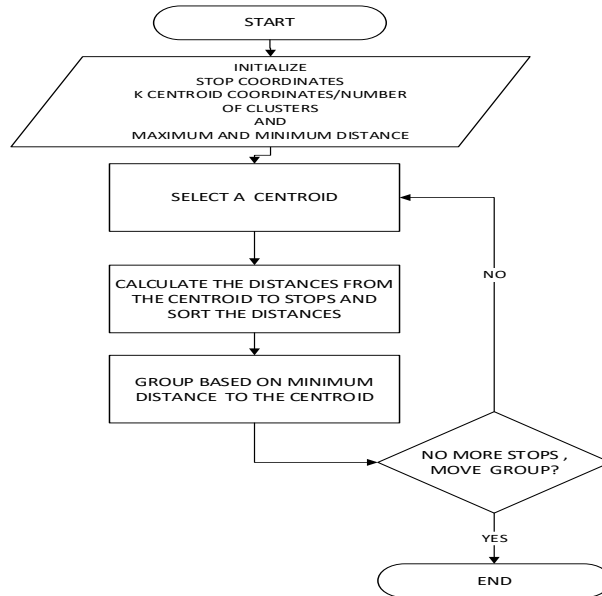


Figure 2. Clustering (KNN) Flowchart

In this study, a modification of Joseph’s algorithm (2020), Fixed Start (train station) Open Multiple Traveling Salesmen Problem was used. In summary:

1. The first point is the starting for each salesman who travels to a different group of points(cities) but none of them return to their starting points.
2. Except for the first, each city is visited by exactly one salesman

Pseudo flow chart of genetic algorithm is given in Figure 3.

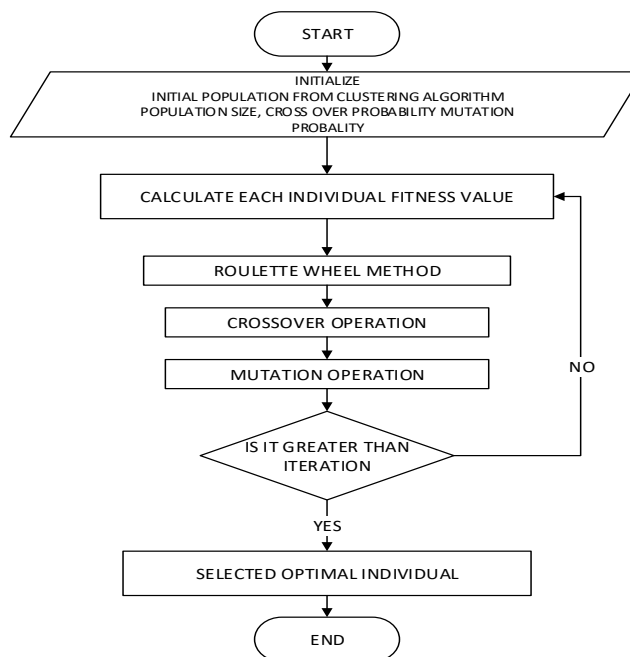


Figure 3. Flow chart for GA

4. Results and Discussion

This methodology was tested on the case study by Kuah and Perl, 1989. This case has a network of 59 vertices, which include 55 bus stops (BS1-BS55), four rail stations (TR56-TR59) with a service area of 2x2.5 mile, and 200 passengers per stop per hour. The inputs of each vertex were extracted and all coordinates are in 100 miles. Figure 4 shows the sample problem representing plotted coordinates of bus stops and train stations.



Figure 4. Layout of the Sample Problem

4.1. Clustering of the Sample Problem

For this work, the bus stops and train station coordinates taken and were classified using the KNN search using the Chebyshev distance metric and the results are presented in Table 1 below. TR (56, 57, 58, 59) represents train stations and the BS (1 to 55) represents the bus stops. Therefore, station 57 had the largest number of stops clustered around while the other stations has an equal number of stations.

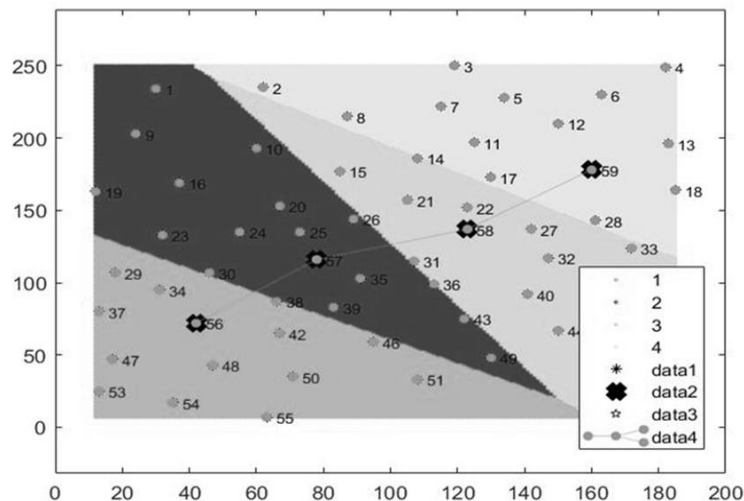


Figure 5. Clustering

4.2. MTSP based GA Optimization for the Sample Problem

The input of the clustered points, MTSP based genetic algorithm was implemented and the number of routes representing salesman was generated for each train station and the best solution was taken and the procedure is repeated by varying the number of the salesman from 2 to 5. The parameters used for genetic algorithms are a number of salesmen, minimum tour, number of iterations. Figure 6 given below shows the route structure for each case of the salesman.

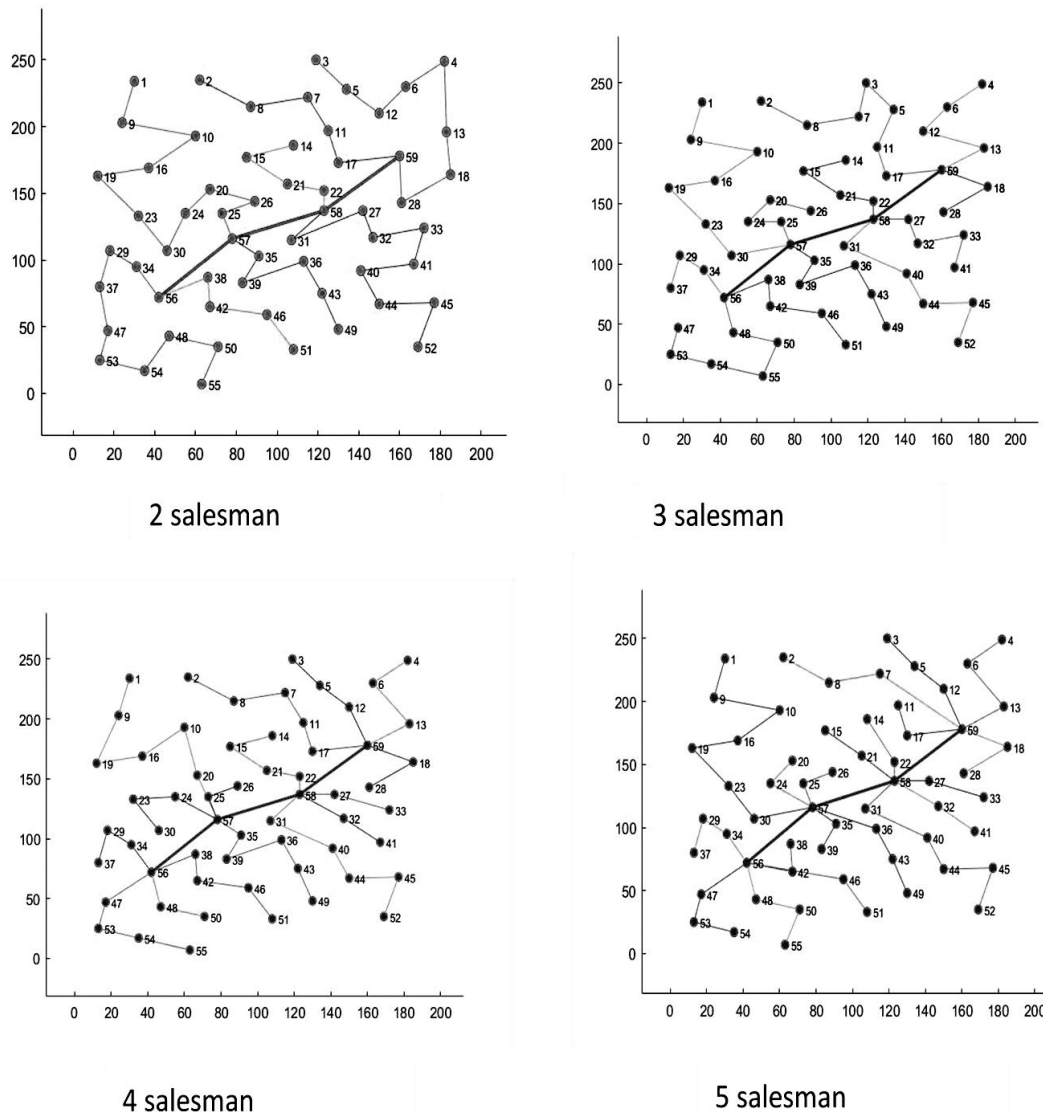


Figure 6. Route Structure

4.3. Evaluation of the Optimized Network

Analysis of transit system borders on the estimation of ridership and direct cost of the system. Also calculation of total cost will require other salient factors like such as various components of time (waiting, riding,) fleet size and other performance measures listed below. Representing system performance requires that one calculate additional parameters. The listed system performance measures are calculated by using the parameters in Table 1(Kuah and Perl, 1989):

- Routes (NR)
- Route Length (TRL)
- Average Frequency (AF)
- Total Vehicle Miles (TVM)
- Total Passenger Miles (TPM)
- Bus operating Cost (BOC)
- Bus User Cost (BUC)
- Bus Riding Cost (BRC)
- Bus Waiting Cost (BWC)

Table 1. Parameters

Descriptions	Units	Value
Operating cost unit (λ_0)	\$/veh. mile	3
Riding cost unit (λ_r)	\$/pass. hr	4
Waiting time Cost (λ_w)	\$/pass. hr	8
Max. allowable route length (RL)	mile	2.5
Bus capacity	seat	50
Average bus operating speed (U)	mile/hr	20
Average demand per hour at bus stop i to station j (q_i)	pass./hr	200
Bus operating frequency (f_{ij})	veh./hr	
Distance from stop i to station j (l_{ij})	miles	

The cost components in a given transit system may consist of waiting cost, operating cost and riding costs:

- Bus operating cost: can be defined based on unit of time or distance cost in connection with the transit service provided.

$$BOC = 2 * \lambda_0 f_{ij} l_{ij} \tag{7}$$

- Bus waiting cost: The waiting cost includes passengers waiting for the buses, which is the product of average wait time, demand, and the value of users 'wait time.

$$BWC = \frac{\lambda_w q_i}{2f_{ij}} \tag{8}$$

- Bus riding cost: the product of demand, in-vehicle time, and value of time can define the user in-vehicle cost. In some literatures it is regarded as running time

$$BRC = \frac{\lambda_r l_{ij} q_i}{U} \tag{9}$$

- Bus user cost

$$BUC = BWC + BRC \tag{10}$$

- Frequency: bus operating frequency

$$f_{ij} = 0.5 * ((\lambda_w q_i) / (\lambda_0 l_{ij}))^{0.5} \tag{11}$$

- Total Vehicle Miles: is given by multiplying the vehicle hours by the average speed

$$TVM = U f_{ij} (l_{ij} / U) \tag{12}$$

- Total Passenger Miles: summation of (segment length* average volume)

$$TPM = \sum((l_{ij} q_i)) \tag{13}$$

In Figure 7, when the operations measure of MTSP based solutions are compared with Kuah and Perl (1989) solution, similar performance can be obtained by four salesmen, especially for AF. Besides four salesmen solution provides slightly better performance than Kuah and Perl's solution. TRL measure increases from two to four salesmen solutions and then decreases for five salesmen solution, even though the routes increase in number. To provide short and fast feeder bus routes with small vehicle capacities, it is beneficial to keep the number of salesmen high in the solution.

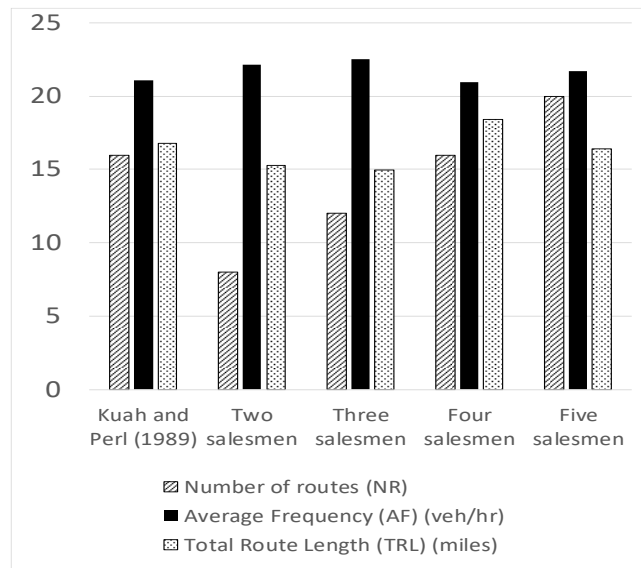


Figure 7. Comparison of Operation Measures NR, AF and TRL

Figure 8 shows the comparison of operation measures and cost components. It is clear from the figure that, although the total vehicle miles (TVM) and bus operating cost (BOC) are nearly unchanged, total passenger miles (TPM) and the bus user cost (BUC) values decreased by increasing the number of salesmen. Therefore, the redundant travel lengths of passengers can be eliminated in this way.

The results of this algorithm may not be favorable from the operator's perspective as one will expect that as the number of routes increases, the fleet size will increase and consequently increase in operating cost but the BOC value highly fluctuates. This may be largely due to the fact that the feeder routes were designed based on the shortest distance which tends to favor the user perspective. The users will prefer a minimized travel time and cost while the transit operators will focus more on the maximization of profit which may be a function of ridership. Like most optimization problems, FBRNDP strives to create optimal routes taking into consideration the cost incurred by the operator, user, and even social and environmental costs. At this stage, multi-objective optimization has become important since different opposing objectives yields different results.

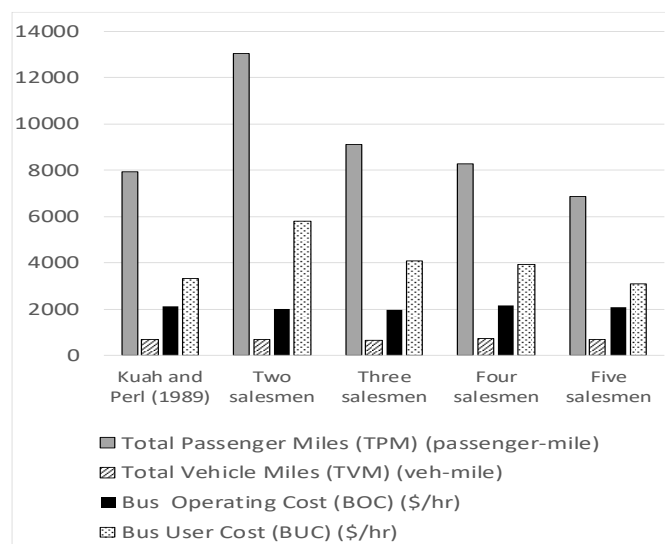


Figure 8. Comparison of TPM and TVM Operation Measures and Cost Components

5. Conclusion

Tour construction problem, which has mainly TSP and VRP as sub problems can be represented by MTSP as a generalization or relaxation respectively. MTSP is quite similar to real-life problem FBRNDP where we have many origins and one destination. This paper proposes a two-level algorithm for defining initial bus routes connecting an existing rapid transit system. A clustering algorithm was introduced to assign bus stops to the nearest station and a fixed multiple salesman genetic algorithm was used to optimize feeder bus routes based on the shortest distance with a constraint of no return journey. According to the need of the designer, the number of the salesperson (number of routes) may be varied to show its sensitivity to other factors such as frequency, route length, and route structure. These parameters can subsequently be used to estimate user and operator's perspectives impacts. As the number of route increases, the total passenger miles decreases even though the total vehicle miles fluctuates and the fleet size increases. The proposed heuristic generates good bus route networks connecting to the fixed train stations especially when compared to a well-utilized result of Kuah and Perl, 1989. The use of variable demand, which may be obtained from a more reliable source like smart card data, may be appropriate rather than using fixed demand. Similarly, practical distance (not a straight-line distance) among locations may be more representative; therefore, usage of geographic information systems is needed in real-life applications. Finally, the results of this bi-level algorithm can be used as initial input or solution in a multi-objective optimization to address the different perspectives often associated with the bus route network design problem and it allows sensitivity analysis be carried easily. The main advantage of this model is that bus stops can be clustered around the nearest train station based on nearest neighbor algorithm and this has a huge potential with increasing numbers of bus stops and railway stations in a given system.

Acknowledgement

This study is a part of the thesis constituted within the Graduate School of Natural and Applied Sciences, Dokuz Eylül University, Turkey. Hassan Shuaibu ABDULRAHMAN appreciates TÜBİTAK for the scholarship support of the related research project titled "Interpretation of Settlement Pattern Changes in Turkey via İzmir Case" (117K824).

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Arostegui Jr, M. A., Kadipasaoglu, S. N., & Khumawala, B. M. (2006). An empirical comparison of Tabu search, simulated annealing, and genetic algorithms for facilities location problems. *International Journal of Production Economics*, 103(2), 742-754.
- Arya, V., Goyal, A., & Jaiswal, V. (2014). An optimal solution to multiple traveling salesperson problem using a modified genetic algorithm. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEEM)*, 3(1).
- Başkan, Ö., Ozan, C., Ceylan, H., (2019). Optimization of reserve capacity in urban road networks based on traffic signal timings, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 7(4), 787-795
- Bektas, T. (2006). The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. *Omega*, 34(3), 209-219
- Carter, A. E., & Ragsdale, C. T. (2006). A new approach to solving the multiple traveling salesperson problem using genetic algorithms. *European journal of operational research*, 175(1), 246-257.
- Chien, S., Yang, Z., & Hou, E. (2001). Genetic algorithm approach for transit route planning and design. *Journal of transportation engineering*, 127(3), 200-207.
- Eldrandy, K. A., Ahmed, A. H. N., & AbdAllah, A. F. (2008, December). Routing Problems: A Survey. In *The 43rd Annual Conference on Statistics, Computer Sciences and Operations Research* (pp. 51-70)
- Erkan, İ. (2014). Evaluation of level of service for Isparta Süleyman Demirel Airport terminal building, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 2(2), 113-118.
- Goldberg, D., 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Reading, Boston: MA: Addison-Wesley Professional.
- Joseph Kirk (2020). Fixed Start Open Multiple Traveling Salesmen Problem Genetic Algorithm. (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/21302-fixed-start-open-multiple-traveling-salesmen-problem-genetic-algorithm>), MATLAB Central File Exchange. Retrieved December, 2019.
- Karakatič, S., & Podgorelec, V. (2015). A survey of genetic algorithms for solving multi depot vehicle routing problem. *Applied Soft Computing*, 27, 519-532.
- Kepaptsoglou, K., & Karlaftis, M. (2009). Transit route network design problem. *Journal of transportation engineering*, 135(8), 491-505.
- Király, A., & Abonyi, J. (2011). Optimization of multiple traveling salesmen problem by a novel representation based genetic algorithm. In *Intelligent computational optimization in engineering* (pp. 241-269). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kuah G, K, and Perl J.1989. The feeder-bus network-design problem. *Journal of the Operational Research Society*; vol.40, no.8,

pp. 751–767

- Kuan S, N, Ong H, L, and Ng K. M. 2006. Solving the feeder bus network design problem by genetic algorithms and ant colony optimization. *Advances in Engineering Software*, vol.37, no.6, pp. 351–359.
- Kuan, S. N., Ong, H. L., & Ng, K. M. (2004). Applying metaheuristics to feeder bus network design problem. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 21(04) 543-560.
- Park, Y. B. (2001). A hybrid genetic algorithm for the vehicle scheduling problem with due times and time deadlines. *International Journal of Production Economics*, 73(2), 175-188.
- Shrivastav, P., & Dhingra, S. L. (2001). Development of feeder routes for suburban railway stations using heuristic approach. *Journal of transportation engineering*, 127(4), 334-341.
- Singh, A. (2016). A review on algorithms used to solve multiple traveling salesman problem. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3(4), 598-603.
- Tang L, Liu J, Rong A, Yang Z. (2000). A multiple traveling salesman problem models for hot rolling scheduling in Shanghai Baoshan Iron & Steel Complex. *European Journal of Operational Research* 124:267–82.
- Yaslı, F., Güvensan, M.A., (2019). Discriminative features for energy-constrained devices on transportation mode detection, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 7(1), 90-102.
- Yu, Z., Jinhai, L., Guochang, G., Rubo, Z., & Haiyan, Y. (2002, June). An implementation of evolutionary computation for path planning of cooperative mobile robots. In *Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation (Cat. No. 02EX527) (Vol. 3, pp. 1798-1802)*. IEEE.
- Zhang T, Gruver W A, and Smith M H. (1999). Team scheduling by a genetic search. *Proceedings of The Second International Conference On Intelligent Processing and Manufacturing of Materials*.2, 839-44.



DESIGN AND PROPERTIES OF COMPOSITE SUSTAINABLE BUILDING MATERIAL BY USING WASTE HDPE

Hamit ÖZYURT*

Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Forestry, Forest Industry Engineering, Kahramanmaraş, Turkey

Keywords	Abstract
<i>Sustainable Building Materials, Waste HDPE, Plywood, Industrial Product Design, Recycling, Technological Properties.</i>	The aim of this study is to produce next generation of sustainable building materials by using wood veneers and waste plastics. In this study, plywood was produced using poplar (<i>Populus Euphratica</i>) veneer and waste high-density polyethylene (HDPE). Four different high-density polyethylene amounts were used (170 g/m ² , 200 g/m ² , 240 g/m ² and 280 g/m ²). Some technological properties such as density, modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR), and impact bending (IB) were investigated according to Turkish standards TS EN 323, TS EN 310, TS EN 310 and TS 2477, respectively. According to obtained data, the density, MOR, MOE and IB values are increased by increasing the usage rate of HDPE in composite production.

ATIK HDPE KULLANILARAK SÜRDÜRÜLEBİLİR KOMPOZİT YAPI MALZEMESİ TASARIMI VE ÖZELLİKLERİ

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Sürdürülebilir Yapı Malzemesi, Atık HDPE, Kontrplak, Endüstriyel Ürün Tasarımı, Geri Dönüşüm, Teknolojik Özellikler.</i>	Bu çalışmanın amacı, ahşap kaplama ve atık plastik kullanarak yeni nesil sürdürülebilir yapı malzemesi üretmektir. Bu çalışmada, kavak (<i>Populus Euphratica</i>) kaplama ve dört farklı yoğunluğa sahip (170 g/m ² , 200 g/m ² , 240 g/m ² ve 280 g/m ²) yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kullanılarak kontrplak üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin hava kurusu yoğunluk (TS EN 323), eğilme direnci (TS EN 310), eğilmede elastikiyet modülü (TS EN 310) ve şok direnci (TS 2477) gibi teknolojik özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen test sonuçlarına göre, kontrplak üretiminde kullanılan yüksek yoğunluklu polietilenin (HDPE) kompozit malzeme içerisindeki yoğunluğunun artmasına paralel bir şekilde teknolojik özelliklerde de artış kaydedildiği tespit edilmiştir.

Alıntı / Cite

Özyurt, H., (2020). Design and Properties of Composite Sustainable Building Material by Using Waste HDPE, Journal of Engineering Sciences and Design, 8(3), 777-782.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Özyurt, 0000-0003-4060-1583

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	22.05.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	27.08.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	04.09.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Introduction

Plastic waste can remain intact for centuries in nature. Nearly half of the produced plastics float on the surface of the oceans. While some of the materials made of plastic are produced to be used for a long time, most of them are designed and produced for short-term use. High-density polyethylene (HDPE) is widely used worldwide because HDPE has a wide variety of applications. Also, today there are plastic wastes around us and even in the most remote corners of the world. Environmental pollution caused by plastic causes thousands of animals to die every day and serious damage to the ecosystem. However, plastic is a recyclable material. The issue of recycling plastic waste and reducing plastic waste is very important for the future of the world.

* İlgili yazar / Corresponding author: hcanozyurt@gmail.com, +90-534-318-2824

It is possible to recycle waste plastics by producing wood plastic composites. Wood plastic composite can be produced with wood lamination technique. Recently, when we examine the studies about wood-based building materials, it is seen that the use of some materials other than wood in lamination gives impressive results (Wangaard, 1964; Biblis, 1965; Rowlands et al., 1986; Pidaparti and Johnson, 1996; Hallstrom and Grenestedt, 1997; Fiorelli and Dias, 2006; Güler and Subaşı, 2011; Basterra et al., 2012; Bal and Özyurt, 2015; Taheri et al., 2009; Özyurt and Ayrılmış, 2018; Luggin and Beigmeister, 1998).

Wood and wood-based materials are preferred as sustainable building materials. Plywood can be defined as structural composite timber. Plywood is widely used as building material. It is produced by pressing the fiber directions perpendicular to each other with the help of suitable glue by using thin wood veneer (See figure 1). It is a natural and recyclable material because it is produced from wood.

However, the use of glue increases the cost of the composite material and causes the release of harmful gases. In this research, waste plastic was used instead of glue in lamination. Thus, the production cost of plywood used as construction material has been reduced. In addition, it is aimed to improve the technological properties of wood material by using waste plastic (HDPE).

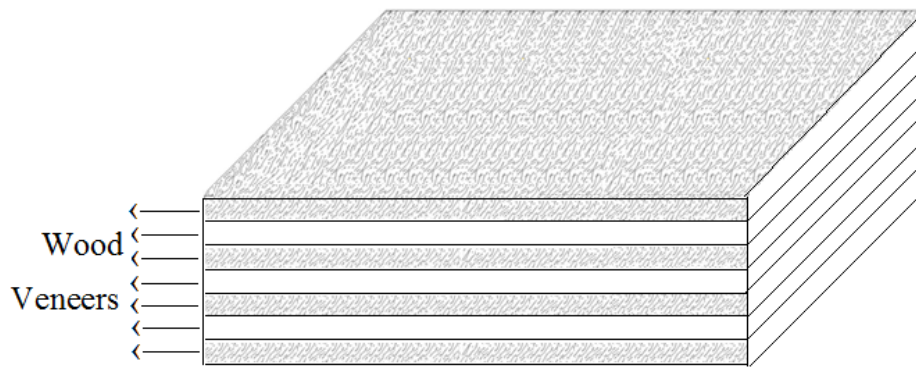


Figure 1. Schematic image of the plywood

2. Materials and Methods

2.1. Materials

In this research, with a thickness of 2.8 millimeters peeling veneers obtained from poplar (*Populus Euphratica*) were used. The poplar veneers were purchased from a special manufacturer. Four different waste high-density polyethylene (HDPE) amounts were used (170 g/m², 200 g/m², 240 g/m² and 280 g/m²).

2.2. Methods

Plywood-HDPE composite boards were produced as seven layers (fiber directions perpendicular to each other). Adhesive was not used in plywood production. Waste high-density polyethylene sheets (HDPE) were used instead of glue in plywood production.

Seven wood veneer sheets and waste HDPE sheets pressed (See Figure 2) in hot press (140°C temperature, 7 kg/cm² press pressure). Four experimental groups were created. These are group A (waste HDPE amount is 170 g/m²), group B (waste HDPE amount is 200 g/m²), group C (waste HDPE amount is 240 g/m²) and group D (waste HDPE amount is 280 g/m²). Fifteen boards were manufactured for each group (The plywood-HDPE composite boards measuring 60 cm width, 60 cm length, 2 cm thickness), totaling 60 Plywood-HDPE composite boards. The test samples were conditioned at 20±3 °C and 65±5% relative humidity until stable weight (almost 25 days). Some technological properties such as density, modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR), and impact bending (IB) were investigated according to Turkish standards TS EN 323 (1999), TS EN 310 (1999), TS EN 310 (1999) and TS 2477 (1976), respectively. The MOE, MOR and IB tests of Plywood-HDPE composite were performed in edgewise and flatwise direction (See Figure 3).

The technological properties of Plywood-HDPE were also determined according to equations given in below;

$D_{12} = W_{12}/V_{12}$ where; D_{12} is Air dry density (gr/cm³), W_{12} is air dry weight of test samples (gr), V_{12} is air dry volume (cm³) of test samples (TS EN 323, 1999). Also,

$\sigma_{MOR} = 3 \cdot P_{max} \cdot L / 2 \cdot b \cdot h^2$ where; σ_{MOR} is modulus of rupture (MPa), P_{max} is maximum force at the time of rupture (N), L is the span between supports (mm), b is the width of the specimens (mm), h is the height (mm) of the specimens (TS EN 310, 1999). Also,

$\sigma_{MOE} = \Delta F \cdot L^3 / \Delta f \cdot 4 \cdot b \cdot h^3$ where; σ_{MOE} is modulus of elasticity (MPa), ΔF is the force difference applied in the elastic deformation zone, Δf is bending amount difference of the test specimen, L is the span between supports (mm), b is the width of the specimens (mm), h is the height (mm) of the specimens (TS EN 310, 1999). Finally,

$\sigma_{IB} = Q / b \cdot x \cdot h$ where; σ_{IB} is impact bending (kgm/cm^2), Q is absorbing energy (kgm), b is the width of specimen (cm), and h (cm) is the thickness (TS 2477, 1976).

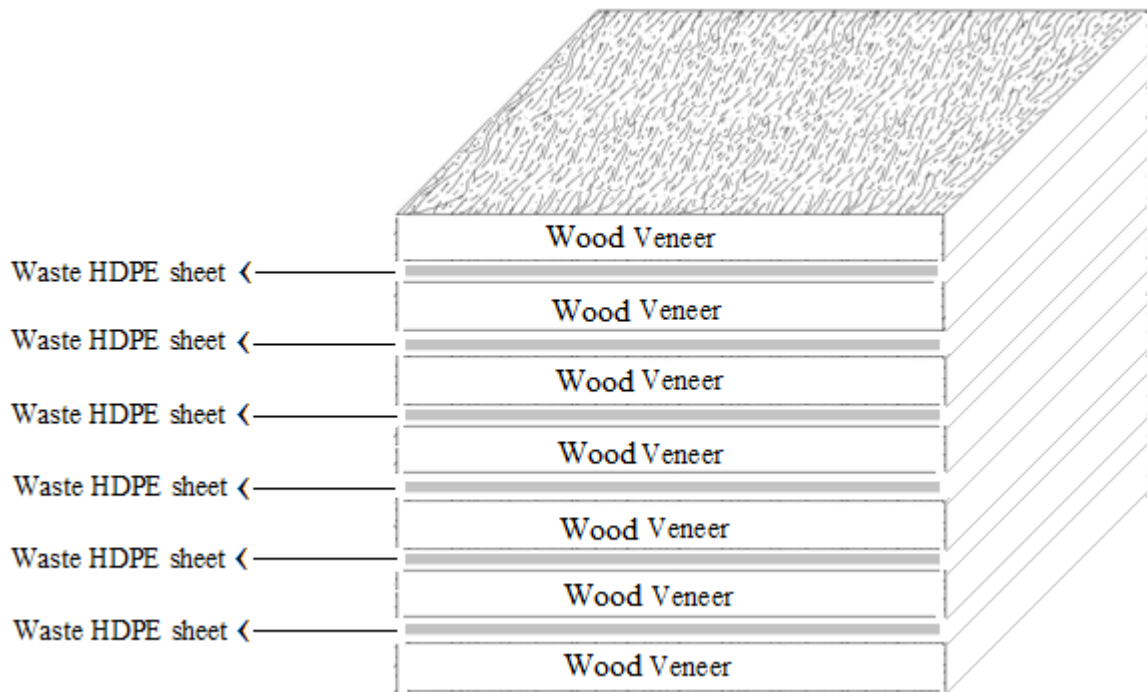


Figure 2. Schematic representation of the experimental groups (A,B,C and D)

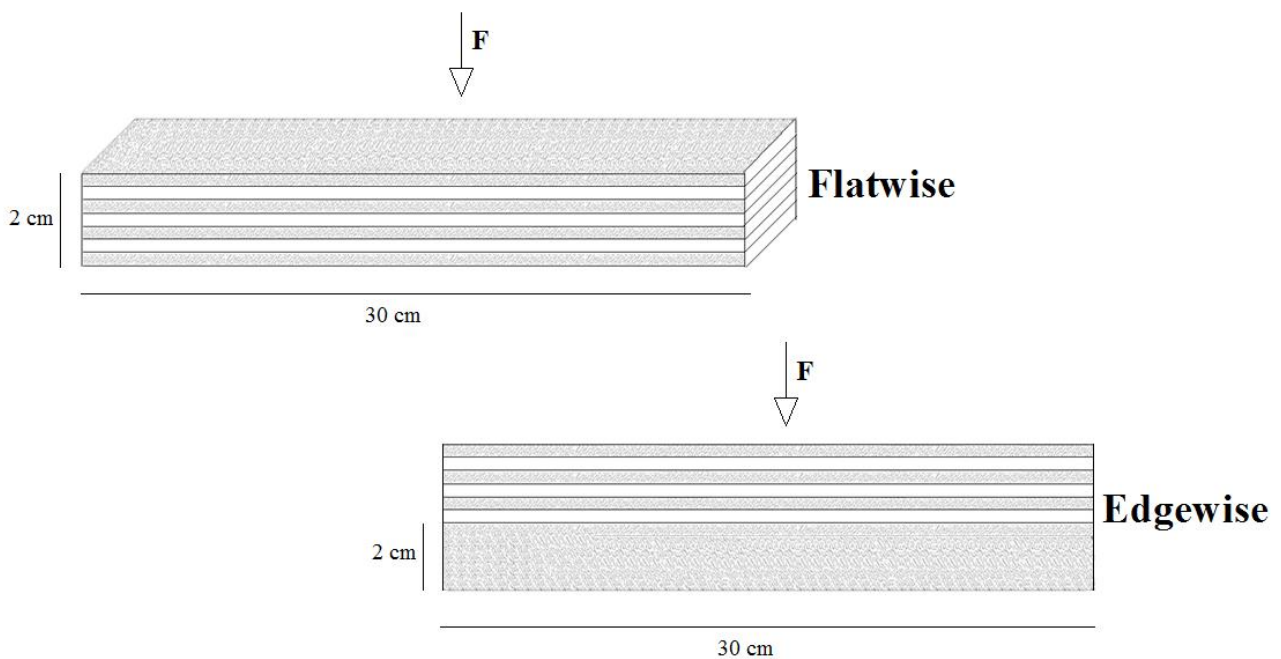


Figure 3. Positions Flatwise and Edgewise of the test specimens in the MOR, MOE and IB tests

3. Results and Discussion

When table 1 and table 2 are examined in detail, modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE), impact bending (IB) and air dry density values of the experimental groups range from 65.09 MPa to 79.24 MPa, 5671 MPa to 7447 MPa, 0.41 kgm/cm² to 0.81 kgm/cm², 0.44 gr/cm³ to 0.55 gr/cm³, respectively. The modulus of rupture, modulus of elasticity and impact bending of flatwise direction were found to be better than edgewise direction. Technological properties (Air dry density, MOR, MOE and IB) of D group were determined higher than other groups. Air dry density value was found as 0.44 gr/cm³, 0.47 gr/cm³, 0.52 gr/cm³ and 0.55 gr/cm³ for A group, B group, C group and D group, respectively. Use of waste high-density polyethylene (HDPE) in the production of plywood increased density of the composite material. Similar results have been reported by Bal and Özyurt (2015). The modulus of rupture, modulus of elasticity and impact bending and air dry density values are increased by increasing the usage rate of waste high density polyethylene (HDPE) in composite production.

Table 1. The MOR, MOE and IB values of plywood-HDPE

N:100		Flatwise Direction			Edgewise Direction		
		MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (kgm/cm ²)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (kgm/cm ²)
Group A	x	66.15	5750	0.42	65.09	5671	0.41
	s	2.14	339	0.04	3.35	407	0.04
Group B	x	69.54	6112	0.55	68.69	6003	0.49
	s	3.07	235	0.06	2.60	496	0.07
Group C	x	74.96	6846	0.72	72.24	6709	0.64
	s	2.51	197	0.07	2.72	501	0.06
Group D	x	79.24	7447	0.81	77.99	7313	0.78
	s	3.10	381	0.05	2.89	413	0.07

x: mean value, s: standard error, N: the number of samples in each group

Table 2. Air dry density values of plywood-HDPE

N:100		Group A	Group B	Group C	Group D
Density (gr/cm ³)	x	0.44	0.47	0.52	0.55
	s	0.02	0.04	0.05	0.04

X: mean value, s: standard error, N: the number of samples in each group

According to MOR test results, the highest value was measured in group D as 79.24 MPa and the lowest value in A group as 65.09 MPa. Modulus of rupture values of A (flatwise- edgewise), B (flatwise- edgewise), C (flatwise- edgewise) and D (flatwise- edgewise) groups were determined as 66.15 MPa - 65.09 MPa, 69.54 MPa - 68.69 MPa, 74.96 MPa - 72.24 MPa, 79.24 MPa - 77.99 MPa, respectively. The modulus of rupture (MOR) values are increased by increasing the usage rate of waste high-density polyethylene (HDPE) in plywood production (See Figure 4). Similar results about MOR have been reported by Güler and Subaşı (2011).

When modulus of elasticity (MOE) test results are examined, MOE values of A (flatwise- edgewise), B (flatwise- edgewise), C (flatwise- edgewise) and D (flatwise- edgewise) groups were determined as 5750 MPa - 5671 MPa, 6112 MPa - 6003 MPa, 6846 MPa - 6709 MPa, 7447 MPa - 7313 MPa, respectively. The D group showed higher mean value of MOE, while the A group had the lowest mean value of MOE (See Figure 5). It is believed that under static loading modulus of elasticity (MOE) values of the experimental groups (A, B, C and D) have increased because of waste high-density polyethylene (HDPE) and wood veneer were modified. Similar results about MOE have been noted by other researchers (Fiorelli and Dias, 2006; Hallstrom and Grenestedt, 1997).

According to impact bending (IB) test results, IB values of the experimental groups have increased significantly. The IB values of A (flatwise- edgewise), B (flatwise- edgewise), C (flatwise- edgewise) and D (flatwise- edgewise) groups were determined as 0.42 kgm/cm² - 0.41 kgm/cm², 0.55 kgm/cm² - 0.49 kgm/cm², 0.72 kgm/cm² - 0.64 kgm/cm², 0.81 kgm/cm² - 0.78 kgm/cm², respectively. When the results are examined in detail, compared to group A, percentage increase IB of B (flatwise- edgewise), C (flatwise- edgewise) and D (flatwise- edgewise) groups were determined as % 31 - % 19, % 71 - % 56, % 92 - % 90, respectively (See Figure 6). It is thought that under dynamic loading impact bending (IB) resistance of the experimental groups (A, B, C and D) have increased owing to waste high-density polyethylene (HDPE) with composite material were integrated. Similar results about IB have been reported by Özyurt and Ayrılmış (2018).

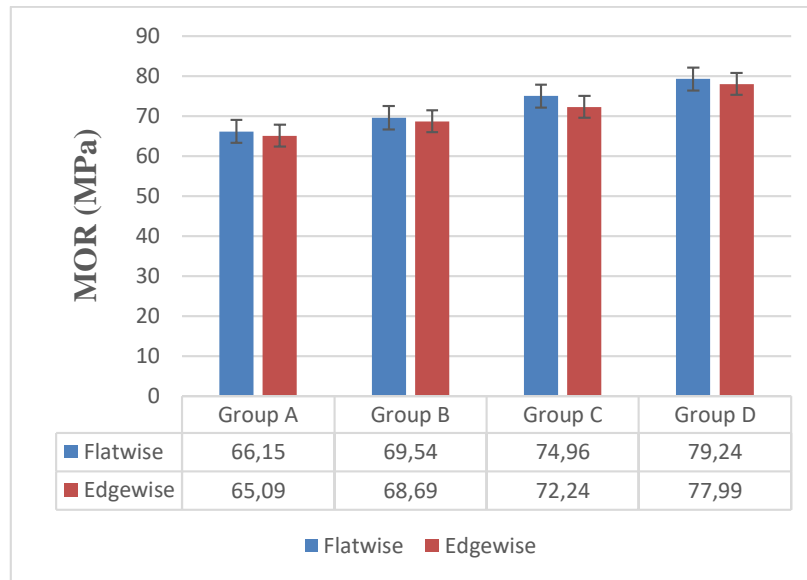


Figure 4. Comparison of the MOR values of experimental groups

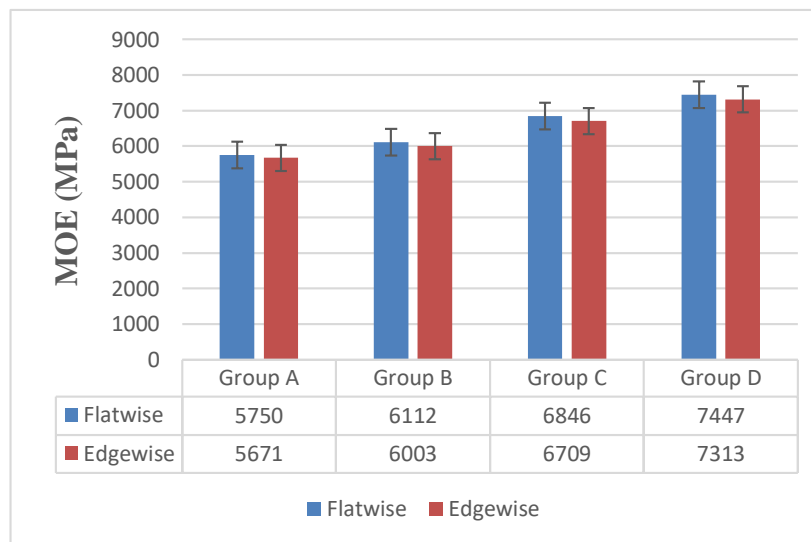


Figure 5. Comparison of the MOE values of experimental groups

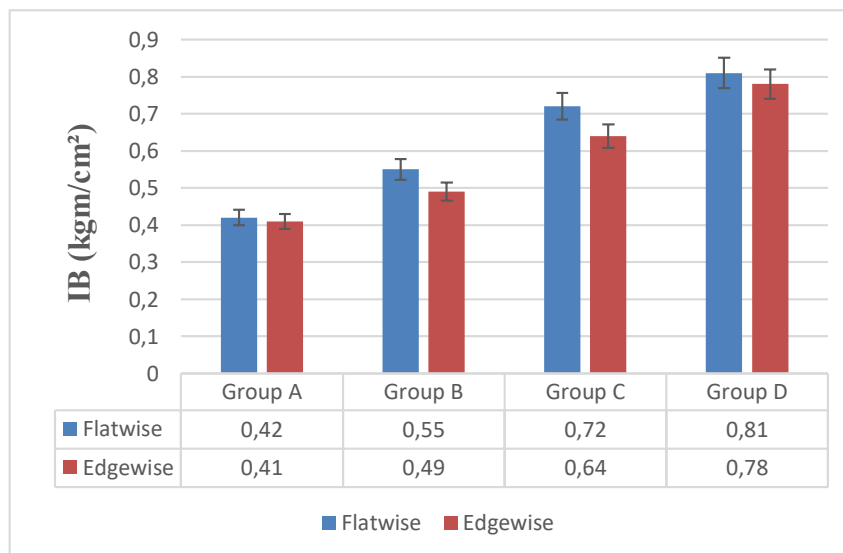


Figure 6. Comparison of the IB values of experimental groups

4. Conclusion and Suggestions

In this study, sustainable building materials (plywood-HDPE composite) was produced by using waste high-density polyethylene (HDPE) and some technological properties were investigated. The test results showed that:

1. It is possible to recycle the waste high-density polyethylene (HDPE) using plywood production.
2. The production cost of composite material was reduced by using waste HDPE instead of glue in plywood production.
3. It is technically possible to use waste HDPE in the design and production of sustainable building materials.
4. The modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE) and impact bending (IB) values of flatwise direction were determined to be higher than edgewise direction.
5. Use of high-density polyethylene in the production of plywood increased density of the composite material, which led to the development of technological properties.
6. Compared other experimental groups (A, B and C), it has been determined that group D has the highest technological properties.
7. Wood and wood-based composites are natural materials because they are made from trees. Wood plastic composites (WPC) have very important properties such as low cost, wastes recyclability, eco-friendly and low carbon footprint. Also, they have high technological properties. It is thought that the rate of use of wood plastic composites in the construction sector, interior and exterior architecture, and furniture production should be increased.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

- Bal, B.C., Özyurt, H., 2015. Some technological properties of laminated veneer lumber reinforced with woven glass fiber, Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences, 18(1), 2015, 9-16.
- Basterra, L.A., Acuna, L., Casado, M., Lopez, G., Bueno, A., 2012. Strength testing of poplar duo beams, *Populus x euramericana* (Done) Guinier cv. I-214, with fibre reinforcement, *Constr Build Mater*, 36 (2012): 90-96.
- Biblis, E.J., 1965. Analysis of Wood-Fiberglass Composite Beams Within and Beyond the Elastic Region. *Forest Prod J*, 15(2):81-89.
- Fiorelli, J., Dias, A., 2006. Fiberglass-reinforced glulam beams: mechanical properties and theoretical model, *Materials Research*. 9(3): 263-269.
- Hallstrom, S., Grenestedt, J.L., 1997. Failure analysis of laminated timber beams reinforced with glass fiber composites, *Wood Science and Technology*. 31: 17-34.
- Luggin, W., Beigmeister, K., 1998. Carbon Fiber Reinforced and Prestressed Timber Beams. 2nd Int. PHD. Symposium in Civil Engineering. Budapest, Hungary.
- Özyurt, H., Ayrılmış, N., 2018. Investigation of some mechanical properties of laminated veneer lumber applied to reinforcement design, 3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2018), Pages: 1064-1066, Paper ID:383.
- Pidaparti, R.M.V., Johnson, K., 1996. Composite lamination to wood, *Polymers & Polymer Composites*. 4 (2): 125-128.
- Rowlands, R.E., Deweghe, R.P.V., Laufenberg, T.L., Krueger, G.P., 1986. Fiber-reinforced wood composites, *Wood Fiber Sci*. 18 (1) (1986) 39-57.
- Subaşı, S., Güler, C., 2012. Carbon and glass fiber reinforced laminated scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences, Special Issue, 2012, 78-82.
- Taheri, F., Nagaraj, M., Khosravi, P., 2009. Buckling response of glue-laminated columns reinforced with fiber-reinforced plastic sheets, *Composite Structures*, 88 (2009): 481-490.
- TS 2477., 1976. Wood determination of impact bending strength, Turkish Standard Institute (TSE), Ankara, Turkey.
- TS EN 310, 1999. Wood based panels determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength, Turkish Standard Institute (TSE), Ankara, Turkey.
- TS EN 323., 1999. Wood based panels-Determination of density, Turkish Standard Institute (TSE), Ankara, Turkey.
- Wangaard, F.F., 1964. Elastic Deflection of Wood-Fiberglass Composite Beams. *Forest Prod J*, 13(6):256-260.



SAMPLE ENTROPY ANALYSIS OF HEART RATE VARIABILITY IN RR INTERVAL DETECTION

Veysel ALCAN*

Tarsus University, Engineering Faculty, Department of Electrical and Electronics Engineering, Tarsus, Mersin
Turkey

Keywords

*Sample Entropy,
Heart Rate Variability,
Noisy Factor,
Irregularity.*

Abstract

Entropy is a robust method that is able to measure irregularities or the general behavior of the complex time series which could be continuously interact with many different and independent factors in time. This study aimed to investigate the sample entropy measurement of heart rate variability (HRV) for evaluating of 50Hz interference and baseline wander (BW) noise effects on RR interval. Three different synthetic electrocardiogram (ECG) signals were recorded using the simulator device. Sample Entropy (SampEn) values of full length and windowed length of data were calculated to track and identify RR intervals. It was found that adult normal sinus rhythm (NSR) signal without noise had the most regular and consistent results while adult ECG signal with BW noisy had the most irregular and inconsistent results. Furthermore, the BW noisy had more effect on irregularity ECG signal than 50 Hz interference. Consequently, the SampEn provided the measurement of irregularity and randomness of ECG data. However, it was found that the determination of RR intervals for classification and decision support systems was not practical in real-time analysis of HRV from raw ECG recordings because of noisy affect.

RR INTERVAL TESPİTİNDE KALP ATIM HIZI DEĞİŞKENLİĞİNİN ÖRNEK ENTROPİ ANALİZİ

Anahtar Kelimeler

*Örnek Entropi,
Kalp Hızı Değişkenliği,
Gürültü Faktörü,
Düzensizlik.*

Öz

Entropi, zaman içinde birçok farklı ve bağımsız faktörlerle sürekli olarak etkileşime girebilecek karmaşık zaman serilerinin düzensizliklerini veya genel davranışlarını ölçebilen sağlam bir yöntemdir. Bu çalışma, 50Hz gürültüsünün ve taban hattı kayması (BW) gürültüsünün RR aralığı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kalp hızı değişkenliğinin (HRV) örnek entropi (SampEn) ölçümünü araştırmayı amaçlamıştır. Stimülatör cihazı kullanılarak üç farklı sentetik elektrokardiyogram (EKG) sinyali kaydedilmiştir. RR aralıklarını izlemek ve tanımlamak için tam uzunluktaki ve pencereci veri uzunluğundaki SampEn değerleri hesaplanmıştır. BW gürültüsüne sahip yetişkin EKG sinyali en düzensiz ve tutarsız sonuçlara sahipken Gürültüsüz erişkin Normal Sinüs Ritim (NSR) sinyalinin en düzenli ve tutarlı sonuçlara sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca, EKG sinyali üzerindeki düzensizliklerde BW gürültüsü 50 Hz gürültüsüne göre daha fazla etkiye sahipti. Sonuç olarak, SampEn, EKG verilerinin düzensizliği ve rasgeleliğinin ölçülmesini sağlamıştır. Bununla birlikte, sınıflandırma ve karar destek sistemleri için RR aralıklarının belirlenmesi, gürültülü etki nedeniyle ham EKG kayıtlarından HRV'nin gerçek zamanlı analizinde pratik olmadığı bulunmuştur.

Alıntı / Cite

Alcan, V., (2020). Sample Entropy Analysis Of Heart Rate Variability In RR Interval Detection, Journal of Engineering Sciences and Design, 8(3), 783-790.

* İlgili yazar / Corresponding author: alcanveysel@tarsus.edu.tr, +90-324-600-0033

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
V. Alcan, 0000-0002-7786-8591	Başvuru Tarihi / Submission Date	29.05.2020
	Revizyon Tarihi / Revision Date	01.07.2020
	Kabul Tarihi / Accepted Date	07.07.2020
	Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Introduction

Heart rate variability (HRV) have a strong relationship with heart rate. Therefore, this is gold standard clinical tool to assess cardiovascular autonomic function and cardiac event risks (Villarel et al., 2002). HRV represents the variability of intervals between consecutive R-peaks (RR) on QRS complex measured on the electrocardiogram (ECG) signal (Malik et al., 1996). Irregular and decreased HRV is associated with numerous pathologies for cardiac events, including sudden cardiac death. Over the past decades, HRV measurement from the wearable ECG systems became so popular and have been conducted to wide applications (Guo et al., 2015; Rosenberg et al., 2013; Baig et al., 2013). These systems are utilized for long-term monitoring of the cardiovascular-related diseases and provide decision support system. Although HRV has traditionally been analyzed using linear methods such as time and frequency domain analysis as well as nonlinear dynamic analysis techniques depends in which the time series requires characterizing the signal according to its characteristics such as linear, nonlinear, random and chaotic (Pincus, 1991; Richman and Moorman, 2000; Lake et al., 2002). For accurate HRV measurements, it is very important to analyze normal RR intervals by excluding abnormal RR intervals come from ectopic pulses, noise, artifacts, etc. The exclusion of abnormal RR is possible with short-term clinical ECG recordings under standard conditions where the recorded signals typically contain minimal artifacts. However, it is inevitable the abnormal beats and artifacts appear in ECG signals in long-term recordings and moving conditions of subject. In addition, abnormal RR intervals may be caused by fluctuations in body function such as the body's response to changes in reflexes, physical activity, hormones, endocrine, temperature, as well as the state of the changes dynamism related to physiological or pathological events such as circadian rhythms (Steşn et al., 2005; Kleiger et al., 2005). It is therefore a difficult task to identify and interpret abnormal RR intervals because of its complexity and irregularity, in particular in long-term recordings (24 hours and over). The quantify measurement of the complexity could provide usefull information from nonlinear properties rather any analysis using time domain measurements. Therefore, entropy has recently emerged as a remarkable method for the analysis of nonlinear dynamic time series and quantitative measurement of complexity when many different and independent elements are continuously interacting in time (Pincus, 1991; Richman and Moorman, 2000; Ferrario et al., 2006). Many entropy algorithms have been introduced for complexity measurement, for example, approximate entropy (ApEn), sample entropy (SampEn), multiscale entropy (MSE), fuzzy entropy (FuzzyEn), permutation entropy (PerEn), distribution entropy (DistEn) etc. Initially, ApEn was developed to classify medical systems such as heartbeats (Pincus, 1991). ApEn measures the likelihood that the patterns obtained in the m dimension are similar in subsequent incremental comparisons. The likelihood of being similar implies higher regularity. And this produces smaller ApEn values or vice versa. Consequently, the conditional probabilities in the correlation integral determine the ApEn value. However, ApEn has bias such as the inclusion of self-matching of template vectors in the calculations, being largely dependent on data length and lack of consistency in predictions. Therefore, SampEn algorithm was introduced the to address ApEn biases. (Richman and Moorman, 2000). In practice, however, there are some difficulties in applying complexity measures, such as the effect of noise, lengths of data or parameter settings (Xiong et al., 2017; Kuntzelman et al., 2018, Kaya et al., 2019; Alcan and Uçar, 2019). Thus, in order to investigate what are the limitation of entropy measures from time series with various types noisy and how to provide appropriate interpretations, this study presents the sample entropy measurement of HRV for evaluating of the powerline interference and baseline wander (BW) noise affects on RR interval using the windowing analysis.

2. Material and Method

2.1. Data

ECG data was recorded from Fluke ProSim 8 vital sign patient monitor simulator device (Fluke Corp., Everett WA, USA). Data was sampled by the CED Micro1401 data acquisition (DAQ) unit (Cembridge Electronic Design Ltd, UK). DAQ unit was coupled with simultaneous output of simulator device at 360 Hz sampling rate, 16 bit resolution, and $\pm 5V$ input ranges. Data was stored on PC for further analysis (Figure 1)

Raw ECG signals can often contain various artefacts and noises, such as baseline wander, powerline interference, EMG noise and electrode motion artifacts. Thus, three different types of ECG signals from the simülatör were recorded (Figure 2). We determined the physiological parameters and morpology of the normal sinus rhtym (NSR) ECG signals according to the range of values of a normal (healthy) adult person.

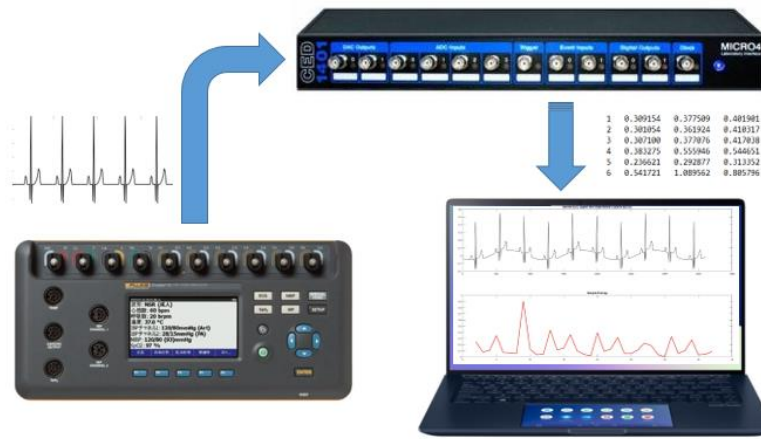


Figure 1. Schematic representation of data recording process

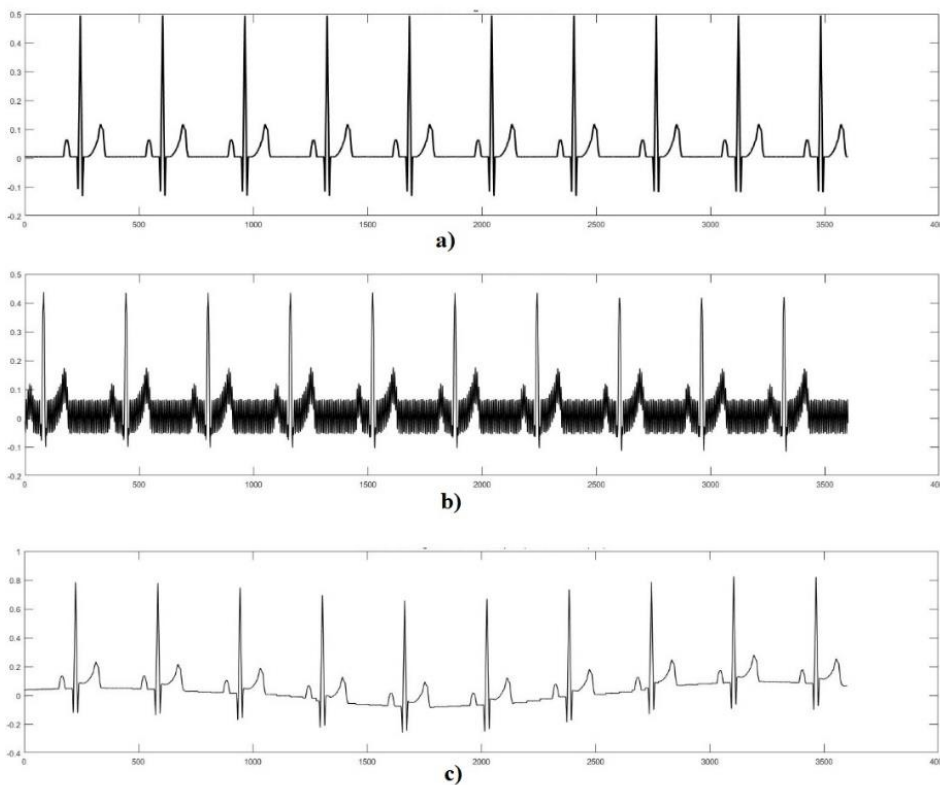


Figure 2. The synthetic NSR recorded from simulator device a) without noise b) with 50 Hz power line artifact c) with baseline wander noise

The first type signal was the noiseless (non-artefact) ECG signal of a normal adult. (Figure 2a) The second type signal was the NSR signal with 25% 50 Hz alternative current (AC) interference (Figure 2b) in the output which is one of the major artefact in ECG recording. The third signal was adult NSR signal with 25% baseline wander (BW) noise (Figure 2c). BW is a low frequency artifact in the ECG caused by breathing, electrically charged electrodes, or movement of the person. This artefact and may prevent detection of ST changes. Both the second and the third type of signals with noisy had also a standard deviation of 5% shown in Table 1.

Table 1. The properties of the synthetic ECG signals recorded from the stimulator device

Parameters	Normal Sinus Rhythm ECG Signal Types for Adult		
	Without artefact	With 50 Hz AC interference	With Baseline Wander
ECG Rate	60 bpm	60 bpm	60 bpm
Resp Rate	20 brpm	20 brpm	20 brpm
Temperature	37.0 C	37.0 C	37.0 C
IBP channel 1	120/80 mmHg	120/80 mmHg	120/80 mmHg
IBP channel 2	28/15 mmHg	28/15 mmHg	28/15 mmHg
NIBP	120/80 (93) mmHg	120/80 (93) mmHg	120/80 (93) mmHg
SpO2	97%	97%	97%
ST Deviation	Off	5%	5%
Amplitude	1.00 mV	1.00 mV	1.00 mV
Artifact Size:	non	25%	25%
Artifact Lead	non	All Leads	All Leads

ECG= electrocardiogram, resp rate= respiratory rate, IBP = invasive blood pressure, NIBP = non-invasive blood pressure, SpO2= signal and blood-oxygen saturation, bpm= beats per minute, brpm= breaths per minute, mmHg=millimeters of mercury, Hz= hertz, AC=alternating current, mV=milivolt, SD= standard deviation

2.2. The Interpretation of ECG Signal

The interpretation of the ECG signal is critical to decide whether the person has normal heart rhythm or abnormal heart rhythms (arrhythmias) such as bradycardia, tachycardia, and atrial fibrillation. ECG interpretation requires a structured assessment of the waves and intervals as shown Figure 3.

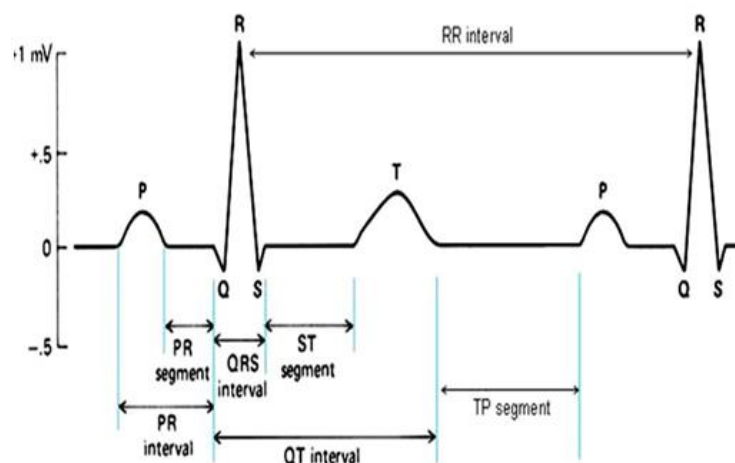


Figure 3. The waves and intervals for interpretation of the ECG signal

The P wave reflects the depolarization of the Atria. Under normal circumstances, the stimulus comes out of the sinus node, first depolarizes the right and then the left atrium. Therefore, the first part of the P wave is depolarization of the right atrium and the second part is the depolarization of the left atrium. Q wave is any negative deflection that precedes an R wave. The R wave is the first upward deflection after the P wave. The R wave represents early ventricular depolarisation. The QRS complex reflects the depolarization of the Ventricles. The Q wave refers to the first negative wave after the P wave, the R wave refers to the first positive wave, and the S wave refers to the negative wave after R. Different QRS complexes are observed in different leads, and not all parts of the QRS complex are seen in each lead. The T wave is the positive deflection after each QRS complex. It represents ventricular repolarisation. The PR interval is the time from the onset of the P wave to the start of the QRS complex. It reflects conduction through the AV node. The PR interval is obtained by measuring the time between the start of the P wave and the start of the QRS complex (in the absence of the Q wave, the start of the R wave). The QT

interval reflects the total time spent for depolarization and repolarization of the ventricles. The QT interval is determined by measuring the time from the start of the QRS complex to the end of the T wave. The ST segment shows the electrically quiet period between depolarization and repolarization of the ventricles. The ST segment is the range that connects the J (junction) point where the QRS complex ends with the start of the T wave. The ST Segment represents the interval between ventricular depolarization and repolarization. The J point is the junction between the termination of the QRS complex and the beginning of the ST segment. The RR interval is the time changed between two successive R-waves of the QRS complex on the ECG.

2.3. Sample Entropy

In this study, SampEn algorithm was used to effectively predict the randomness, degree of regularity or irregularity of a data set. SampEn (m, r, N) is the negative value of the logarithm of the conditional probability. It counts on all other vectors except for each vector itself, looking for the condition that two similar m -point sequences remain similar at the next $m + 1$ point. In SampEn, the percentage of $X_m(j)$ vectors within the tolerance range r of $X_m(i)$, excluding self-matching, is calculated by the Equation 1.

$$A_i^{(m)}(r) = \frac{N_i^{(m)}(r)}{N - m\tau - 1} \quad (1)$$

where, m denotes the embedded size (length of patterns to be compared), r denotes similarity criterion, τ denotes time delay variable and N denotes the length of the data. $N_i^{(m)}(r)$ denotes the number of j s in the range $d_i, j \leq r$, and $1 \leq j \leq N - m\tau$ is $j \neq i$.

Then the percentage average $A_i^{(m)}(r)$ above $1 \leq i \leq N - m\tau$ is determined by the Equation 2.

$$\Psi^m(r) = \frac{1}{N - m\tau} \sum_{i=1}^{N - m\tau} A_i^{(m)}(r) \quad (2)$$

Similarly, $\Psi^{(m+1)}(r)$ is defined after increasing the dimension to $m + 1$. The SampEn value of the u time series is then defined as the negative natural logarithm of the probability of similar patterns of length m to the probability of similar patterns of length $m + 1$, and SampEn is calculated with the Equation 3.

$$\text{SampEn}(m, \tau, r) = - \ln \frac{\Psi^{(m+1)}(r)}{\Psi^{(m)}(r)} \quad (3)$$

3. Experimental Results

In this study, SampEn parameters were selected as $m = 2, \tau = 1$, and $r = 0.2 \cdot \text{SD}$ (Standard Deviation) based on literature. The data length of each ECG signal had 3600 data points. SampEn of ECG signals were calculated with two different approaches. Firstly, SampEn values of full length of data were calculated. Table 2 shows the analysis results of full length data.

Table 2. Entropy values of the full length data for three different ECG signals

Entropy Algorithm	ECG Adult Normal Sinus Rhythm Signal Types		
	Without Noisy	50 Hz AC interference	BW Noisy
SampEn	0,0289	0,4240	0,7773

SampEn=sample entropy, BW=baseline wander

As expected from the background of entropy, the SampEn value of the ECG signal without noise is very low while it is high in signals with noisy. This result provides a quantitative measure of regularity or irregularity in signals. In particular, when the algorithm is considered, it is understood that the comparison of the template vectors in the data series of the regular signals is similar to the next vector and therefore the entropy value is low and vice versa. BW type noise appears to have more effect on the randomness or irregularity of the signal than the 50Hz AC interference. This may be due to the fact that the 50 Hz noise is a more regular noise type in terms of reproducibility throughout the series. In other words, the effect of 50 Hz AC interference on signal complexity is less than BW. Both types of noise caused high entropy values rather than pathological conditions. This may lead to controversial for the interpretation of these signals and the validity of entropy calculations. Especially in arrhythmic ECG evaluation, the reason of the high entropy value will be uncertain because of the noise or pathological condition.

Secondly, windowing technique for the analysis of ECG signals was used to see how SampEn performs to follow the wave and intervals of the ECG signal in particular how sensitive to the noise affect. For windowing technique, the window length was determined as 100 data points. Totally thirty-six intermediate results corresponding to windows were calculated. The overlap between windows was not taken account to avoid more time-consuming for long-term monitoring applications. Figure 4 shows the intermediate values of the entropy for adult NSR signal without noise.

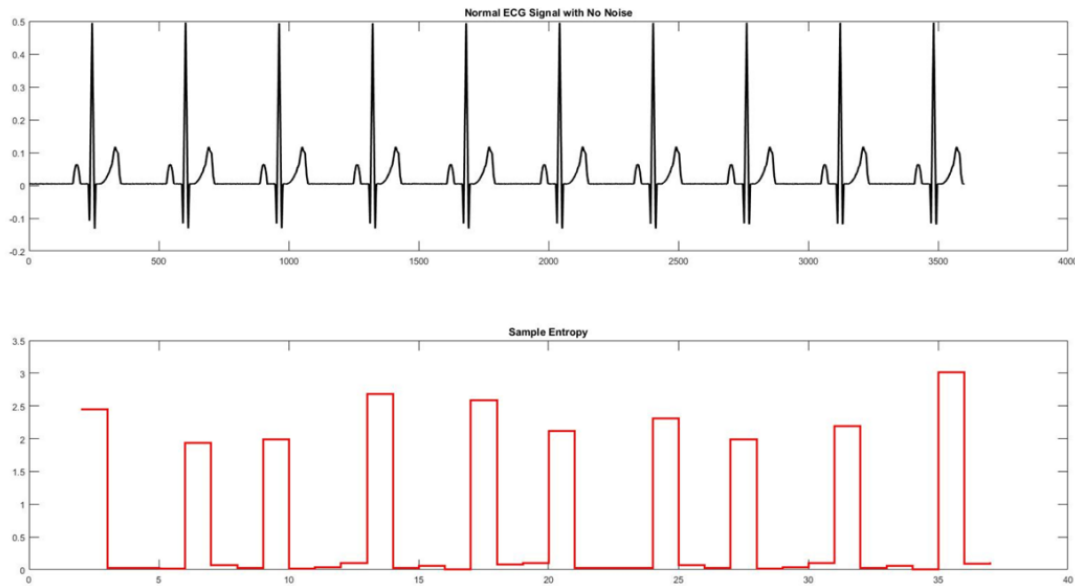


Figure 4. The intermediate values of the entropy for NSR signal without noise

As shown in the Figure 4, in the HRV analysis of noiseless ECG signals, the RR intervals can be visually detected. In the lower windowing range, the entropy results will be more sensitive to the P, QRS complex and T-stage and more precision tracking to signal. However, the process will need more calculation cost. As a result of this, time of process will increase depends on data length. In the higher windowing values, we may miss many R peaks in the dataset because there may be more than one QRS complex in the same window range. This can lead incorrect measurement.

Figure 5 shows the entropy values of the normal adult NSR signal with 50 Hz AC interference. There are significantly, irregularities in entropy values (high and low). While our signal has ten R peaks in the specified range, there are visually too many R peaks in entropy results. In fact, it is unclear which of these is caused by the noise or the heart beat.

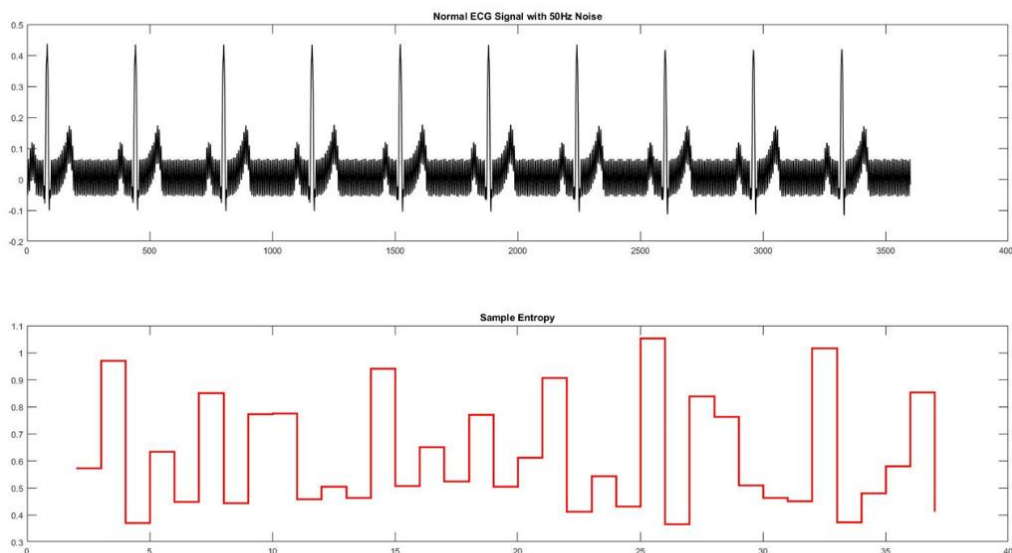


Figure 5. The intermediate values of the entropy for NSR signal with 50 Hz AC interference

Finally, intermediate values of the entropy for the normal adult NSR signal with BW noise was calculated which

shown in Figure 6. The entropy values calculated on each windowing range became more inconsistent and irregular. From the entropy results, most of the ten R peaks in the original signal were visually missing. In addition, there is a decrease in entropy values.

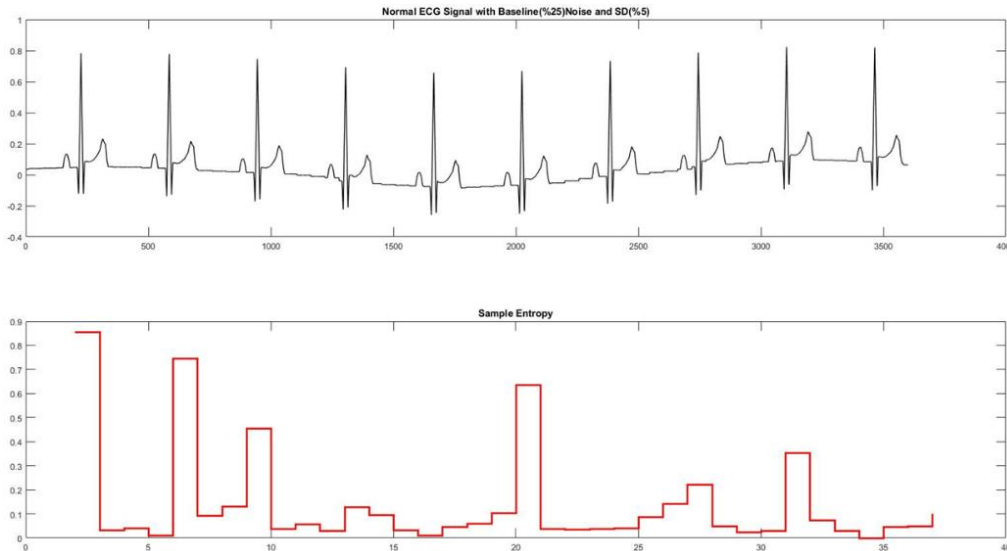


Figure 6. The intermediate values of the entropy for NSR signal with BW noisy

4. Result and Discussion

As a result, it was found that the low value of entropy represents regularity while the high value represents irregularity or randomness depending on noisy type. On the other hand, If there is irregularity in the signal due to noise or pathological conditions, the windowing method can provide information where and how the presence of the irregularity and randomness in the data set by tracing the fluctuations and characteristics of the signal depending on the window length. The existence of patterns within a series is the essence of the definition of randomness. Thus SampEn forms a hierarchy of randomness based on different patterns and their repetitions. When comparing intermediate values of entropy for three type ECG signals, adult NSR signal without noise had the most regular and consistent results while adult NSR signal the BW noisy had the most irregular and inconsistent results. When comparing noise types, it can be said that the BW noise has more effect on irregularity ECG signal than 50 Hz AC interference.

This study presented that the entropy value of a full-length data provide information about the overall irregularity or randomness of complex signals. However, the determination of RR intervals was not practical in real-time monitoring and analysis of HRV measured raw ECG recordings because of noisy affect. Thus, the pre-processing of ECG signals is necessary to eliminate these various interefence, in particular, before feature extraction precess for accurate classification and interpolation of HRV. After pre-processing steps that eliminates noisy, SampEn could be used to determine RR intervals for feature extraction as the fast analysis method in terms of classification and decision support systems for long-term ECG signal monitoring.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

- Alcan V., Uçar M., 2019. Investigation of The Sensitivity Tolerance Parameter to Noise-Related Effect Using Sample Entropy. CISET - 2nd Cilicia International Symposium on Engineering and Technology; 146-149
- Baig M.M., Gholamhosseini H., Connolly M.J., 2013. A comprehensive survey of wearable and wireless ECG monitoring systems for older adults, *Medical & Biological Engineering & Computing*, 51, 485-495.
- Ferrario M., Signorini M.G., Magenes G., Cerutti S., 2006. Comparison of entropy-based regularity estimators: application to the fetal heart rate signal for the identification of fetal distress, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 53,119-125.
- Guo H.W., Huang Y.S., Chien J.C., Shieh J.S., 2015. Short-term analysis of heart rate variability for emotion recognition via a wearable ECG device, *IEEE International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences* 262-265.
- Kaya H., Uçar E., Alcan V.,2019. A Multiscale Entropy Based Approach For Analysis Of Surface EMG Signals. 2nd Cilicia International Symposium on Engineering and Technology,306-310

- Kleiger R.E., Stein P.K., Bigger J.T., 2005. Jr. Heart rate variability: measurement and clinical utility, *Annual Noninvasive Electrocardiology*, 10,88-101.
- Kuntzelman K., Jack Rhodes L., Harrington L. N., Miskovic V., 2018. A practical comparison of algorithms for the measurement of multiscale entropy in neural time series data, *Brain and Cognition*, 123, 126-135.
- Lake D.E., Richman J.S., Griffin M.P., Moorman J.R., 2002. Sample entropy analysis of neonatal heart rate variability, *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 283, 789-797.
- Malik M., Bigger T., Camm A.J., Kleiger R.E., Malliani A., Moss A.J., et al.,1996. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use, *European Heart Journal*,17, 354-814.
- Pincus S.M., 1991. Approximate entropy as a measure of system complexity, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88, 2297-2301.
- Richman J.S., Moorman J.R., 2000. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *The American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 278, H2039-H2049.
- Rosenberg M.A., Samuel M., Thosani A., Zimetbaum P.J., 2013. Use of a noninvasive continuous monitoring device in the management of atrial fibrillation: A pilot study, *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 36, 328-333.
- Stein P.K., Reddy A., 2005. Non-linear heart rate variability and risk stratification in cardiovascular disease, *Indian Pacing and Electrophysiology Journal*, 5, 210-220.
- Villareal R.P., Liu B.C., Massumi A., 2002. Heart rate variability and cardiovascular mortality. *Current Atherosclerosis Reports*, 4, 120-127.
- Xiong W., Faes L., Ivanov, P.C., 2017. Entropy measures, entropy estimators, and their performance in quantifying complex dynamics: effects of artifacts, nonstationarity, and long-range correlations, *Physical Review*, E 95, no. 6, 2017.



PARALLEL K-MEANS CLUSTERING WITH NAİVE SHARDING FOR UNSUPERVISED IMAGE SEGMENTATION VIA MPI

Ahmet Esad TOP, F. Şükrü TORUN, Hilal KAYA*

Ankara Yıldırım Beyazıt University, Department of Computer Engineering, Ankara, Turkey

Keywords

Clustering,
Image Segmentation,
K-means Clustering,
Distributed Memory,
Parallel Computing.

Abstract

In digital image processing, image segmentation is an essential step in which an image is partitioned into groups of pixels. *k*-means clustering algorithm, which is often considered as fast and efficient, is one of the most widely used clustering algorithms to segment an image. However, as the problem size gets larger, the *k*-means starts to spend a significant amount of time to process. At this point, parallelization techniques should be applied to reduce the required time. Designing an efficient parallel and distributed model is not a trivial job since it should correspond to the parallel computer architecture and take communication and load balancing among processors into account. In this study, we propose a parallel and distributed *k*-means clustering algorithm with naïve sharding centroid initialization for image segmentation. The proposed algorithm adopts the Message Passing Interface (MPI) standard to take advantage of the computational power of distributed computing nodes in a High-Performance Computing Cluster. We demonstrate the parallel scalability of the proposed algorithm using up to 128 cores and it achieves 104.23 times faster clustering time.

DENETİMSİZ GÖRÜNTÜ BÖLÜTLEME İÇİN NAİVE SHARDING İLE MPI KULLANARAK PARALEL K-MEANS KÜMELEMESİ

Anahtar Kelimeler

Kümeleme,
Görüntü Bölütleme,
K-means Kümeleme,
Dağıtılmış Bellek,
Paralel İşleme.

Öz

Dijital görüntü işlemede, görüntü bölütleme, görüntünün piksel gruplarına ayrıldığı önemli bir adımdır. Verimli bir kümeleme algoritması kabul edilen *k*-means algoritması, bir görüntüyü bölümlere ayırmak için en yaygın kullanılan kümeleme algoritmalarından birisidir. Bununla birlikte, problem boyutu büyüdükçe, *k*-means, görüntü işlemek için önemli miktarda zaman harcamaya başlar. Bu noktada, gerekli zamanı azaltmak için paralelleştirme teknikleri uygulanmalıdır. Verimli bir paralel ve dağıtılmış model tasarlamak, paralel bilgisayar mimarisini karşılayabilmesi ve işlemciler arasındaki iletişim ve yük dengelemesini dikkate alması nedeniyle önemli bir iştir. Bu çalışmada, görüntü bölütlemesi için naïve sharding kullanarak orta nokta belirleme ile paralel ve dağıtılmış bir *k*-means kümeleme algoritması öneriyoruz. Önerilen algoritma, Yüksek Performanslı Bilgi İşleme Kümesindeki dağıtılmış bilgi işleme düğümlerinin hesaplama gücünden yararlanmak için Mesaj Geçirme Arayüzü (MGA) standardını kullanır. 128 adede kadar çekirdek kullanarak 104.23 kat daha hızlı kümeleme süresi sağlayan önerilen algoritmanın paralel ölçeklenebilirliğini gösterdik.

Alıntı / Cite

Top, A.E., Torun, F.Ş., Kaya, H., (2020). Parallel K-means Clustering with Naïve Sharding for Unsupervised Image Segmentation via MPI, Journal of Engineering Sciences and Design, 8(3), 791-798.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. E. Top, 0000-0001-5017-1594
F. Ş. Torun, 0000-0002-6662-2502
H. Kaya, 0000-0003-4787-105X

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	04.06.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	18.08.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	09.09.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

* İlgili yazar / Corresponding author: hilalkaya@ybu.edu.tr, +90-312-906-2207

1. Introduction

Image segmentation is used in many application areas such as medical imaging (Forouzanfar et al., 2010), object detection (Delmerico et al., 2011), image recognition (Tu et al., 2005), and traffic control (Khan et al.2010). Image segmentation is a task to partition an image into multiple segments. This partitioning allows us to analyze images more easily or use them in an effective manner. When the task is finished, the resulting segments are set of pixels and all pixels in the same set share certain characteristics. One way to segment an image is to use clustering algorithms.

Clustering is a branch of machine learning, particularly a method of unsupervised learning, it splits the dataset into groups according to similarities. Among the unsupervised clustering algorithms, k -means is one of the most popular algorithms due to its simplicity and elegance. The k -means is an algorithm to cluster n objects based on attributes into k partitions, where $k < n$. Each cluster is represented by the center of the cluster. The algorithm converges to stable centroids of clusters.

k -means clustering algorithm for image segmentation is generally used to segment the interest area from the background. When dealing with image segmentation, there exists a serious concern about the running time of the application. Images need to be processed in a reasonable time in order to use them in any area more effectively and efficiently.

The classical k -means algorithm has 3 main steps (Jain et al., 1988). In the first step, the algorithm randomly chooses k data points from the input data as initial centroids which is the center of each cluster. In the second step, the algorithm assigns a centroid to all the data points that are the closest (i.e. the most similar) to the centroid. All points which are assigned to the same centroid form a cluster. In the third step, the algorithm updates centroids by computing the mean of all the examples in the cluster. Second and third steps are kept repeating until stable centroids are found. Therefore the computational complexity of one iteration of k -means algorithm is $k \times n \times t$, where n is the number of objects, t is the time of computing the Euclidean distance between 2 points and the asymptotic time complexity is $O(ikn)$, where i is the number of iterations required for the convergence.

While the classical k -means algorithm uses random centroid initialization, different techniques can be used as initial centroids directly affect the number of iterations needed to converge hence the clustering time. An effective alternative to random centroid initialization is the Naïve Sharding method (Mayo, 2016). It employs summation of attributes of each instance to sort all instances in the dataset. Then the dataset is divided into k equal pieces (i.e. shards). Finally, the initial centroids are chosen by getting the mean of instances in each shard. This method generally reduces the required iteration number and clustering time simultaneously, where its effect depends on the used dataset.

Image segmentation task is often computationally complex, especially when segmenting into a high number of clusters. Therefore, using an algorithm with low time complexity thus reducing the execution time is important. Although the classical k -means clustering algorithm is assumed fast when compared to other clustering algorithms, it also needs excessive time when the size of data is enormous. One intelligent way to reduce the execution time of the algorithm is to use parallel programming techniques that exploit the processing power of multiple processing units simultaneously. The biggest advantage of parallel programming is that it reduces the application solution time to a minimum time (Onder and Goksu, 2019).

There are two common methods in parallel computing; shared memory computing (i.e. multi-core) and distributed memory computing (i.e. cluster). Distributed memory computing needs explicit message passing to share data between distributed nodes. The distributed memory system can have hundreds or thousands of processing units by combining the power of distributed nodes. In this study, we adopt distributed memory parallelism which allows us to write parallel programs that can run on a large number of processing units. While implementing, message passing interface (MPI) library is used which provides a mechanism for synchronizing processes among distributed computing nodes.

In this study, a distributed and parallel k -means clustering algorithm to segment images based on colors is proposed and implemented in order to reduce the execution time of the k -means algorithm.

2. Literature Survey

The studies of (Olson, 1995) and (Rasmussen and Willett, 1989) were one of the first attempts to parallelize clustering algorithms. Parallel k -means clustering methods have been studied by many scholars (Dhillon and Modha, 2002; Xu and Zhang, 2004; Stoffel and Belkoniene, 1999; Zhao et al., 2009). On the other hand, in the

literature, there are very few studies (Kantabutra and Couch, 2000; Joshi, 2003; Zhang et al., 2011) which focus on parallelizing the k -means algorithm with MPI for massively parallel machines, such as high-performance computing (HPC) clusters.

The first parallel k -means clustering algorithm that adopts MPI is proposed in (Kantabutra and Couch, 2000). There is also a study, (Joshi, 2003), that used a heuristic approach to choose initial centroids and implemented parallel k -means clustering algorithm with MPI. In (Zhang et al., 2011), they presented a parallelized k -means algorithm, MKmeans, which focuses on how to efficiently handle huge volumes of data by using MPI. In (Kantabutra and Couch, 2000; Joshi, 2003; Zhang et al., 2011), they all use data parallelism with MPI. The implications from the results of these studies are in common. The studies show that if the problem size is small, communication overhead between processors becomes dominant and the parallel algorithm does not scale up well due to the sequential cost of calculation of initial centroids. Although the efficiency of the algorithms is improved on larger problems, the achieved speedup values remain very limited (i.e. the best result among these three studies is a speedup of 2.10).

Exploiting clustering techniques is one of the most widely used methods for image segmentation. When the subject is applying k -means for Image segmentation, there exist some sequential implementations (Ng et al., 2006; Dhanachandra et al., 2015), some multi-threaded applications (Bose et al., 2013; Wang et al., 2008; Bhimani et al., 2015) focused thread-level parallelism, and some graphics processing unit (GPU) parallelization implementations (Sirotkovic' et al., 2012; Backer et al., 2013; Bhimani et al., 2015). To our knowledge, there exists only one study (Bhimani et al., 2015) that uses an MPI-based parallel k -means algorithm for image segmentation.

A multi-threaded k -means algorithm which utilizes only thread-level parallelism for image segmentation was proposed in (Bose et al., 2013). In their work, the image is divided into parts which are assigned into threads. Then the k -means clustering algorithm is used to segment them on each thread. With 6 threads, clustering the image into 6 clusters on 4000*4000 image is almost 2 times faster than the single-threaded version. Also in (Wang et al., 2008), they implemented a multi-threaded version of the k -means clustering algorithm to exploit the performance gain of multi-core central processing units (CPUs). They get a speedup of 3.89 with four processors.

In (Sirotkovic' et al., 2012), they implemented a parallel k -means algorithm to segment images using GPU with compute unified device architecture (CUDA). Their results show that execution time is improved as between 2.3 and 600 times better than the sequential version. In (Backer et al., 2013), the GPU-based parallel k -means algorithm was proposed to segment images according to colors. When clustering is done, their algorithm assigns an average color to region features. Except for 64*64 image, their method beats the sequential CPU-based method for all other resolutions. Their GPU-based algorithm achieves approximately 8.6 times faster than the sequential CPU-based algorithm for 2048*2048 image.

The first study that compares different parallel approaches by implementing OpenMP, MPI, and GPU parallelization is (Bhimani et al., 2015). They also focused on evaluating different means initializations in parallel. They get the best speed-ups from OpenMP for small images and from GPU for larger images. Their approaches give approximately 30 times speed-up compared to a sequential implementation of k -means. In detail, they get 29.6 speed-up for OpenMP, 28.2 speed-up for MPI, 30.3 speed-up for CUDA implementation on the same 1164*1200 image.

3. Material and Method

This section presents the proposed parallel k -means algorithm that segments images based on red-green-blue (RGB) values, whose color intensities ranging from 0 to 255. Furthermore, the implementation details of the algorithm are also presented here.

In the k -means algorithm, the most computationally intensive part is defining the centroids which describe the clusters. At the beginning of the algorithm, the initial centroids are determined by the Naïve Sharding method and it is presented in Algorithm 2. The centroids are recalculated by using an objective function in each iteration. In this study, we used Euclidean distance (see Equation (1)) as an objective function. While there are many alternatives to the objective function, where it measures the distance between data points, we chose Euclidean distance due to our problem is related to geometrical separation rather than dependent on correlation. For geometrical separation, we could use another distance measurement technique like Manhattan distance, but we preferred to use Euclidean distance because it is generally chosen in similar studies and it is a default and most preferred distance function (Yildiz et al., 2019) of k -means algorithm. Furthermore, if two points are very close on most of the attributes but more diverse on one of them (e.g. in our problem, so similar in Red and Green, but so dissimilar in Blue color space), Euclidean distance will exaggerate that diversity while Manhattan distance is more

influenced by the closeness of other attributes. Our problem focuses on colors, where one color space can highly affect the actual color hence, it is so important to uncover and exaggerate the dissimilarity even only one color space is diverse.

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

In the Introduction section, the principal steps of the classical k -means algorithm are presented. The main difference between the classical k -means and the k -means that is used for image segmentation is dealing with RGB values of pixels while running the algorithm (i.e. equivalent to 3-dimensional data in classical k -means). Furthermore, at the end of the algorithm, the color values of all pixels in the same cluster are adjusted as the centroid's color values, which shape the output image.

Algorithm 1. Parallel k -means Clustering for process p_i

Input: input image, number of clusters as k
Output: output image
1: Choose initial k centroids by using Naïve Sharding method
2: Divide and distribute pixels equally among all processes
3: **while** not converged **do**
4: Broadcast all centroids from the process p_0
5: Calculate Euclidean distance between each centroid c and each pixel
6: Assign each pixel to the nearest cluster
7: Reduce the sum of RGB values of all pixels in each cluster on p_0
8: **if** $p_i = p_0$ **then** // Master process
9: Update k centroids by averaging RGB values of the pixels in each cluster
10: Check convergence
11: **end if**
12: Broadcast the convergence state from p_0
13: **end while**
14: Assign each pixel to the nearest cluster considering final centroids
15: Broadcast all centroids from p_0
16: for all k clusters do
17: Set RGB values of all pixels in the cluster as the RGB values of the centroid c of the cluster
18: **end for**
19: Gather all resulting pixel values to p_0
20: **if** $p_i = p_0$ **then** // Master process
21: Save output image
22: **end if**

The pseudocode of the parallel version of k -means algorithm that segments the image is shown in Algorithm 1. The parameter p_i indicates that the rank of the process with 'i'. In other words, p_i can be referred to as i^{th} process in the parallel system, similarly, p_0 indicates the process with rank '0' which is commonly called as the master process.

The initial centroids are selected by using the Naïve Sharding method. Naïve Sharding centroid initialization method (see Algorithm 2) sorts the pixels in ascending order according to their RGB value summations and dividing them into shards to choose centroids rather than selecting them randomly, which is the case in the traditional k -means algorithm. Here, we employed a parallel merge sort algorithm to achieve a more scalable clustering algorithm. When computations are finished, all pixels in the same cluster are set as the centroid of that cluster. Consequently, the resulting image has the same color for all pixels in the same cluster.

Algorithm 2. Choosing initial k centroids by using Naïve Sharding method with parallel Merge Sort for process p_i

Input: input image
Output: chosen k centroids
1: Divide and distribute pixels equally among all processes
2: Calculate sum of RGB values for all pixels
3: Sort pixels in ascending order according to sum of RGB values with parallel merge sort algorithm
4: **if** $p_i = p_0$ **then** // Master process
5: Slice the dataset into k shards evenly
6: Find k initial centroids by averaging RGB values of the pixels in each shard
7: Return chosen k centroids
8: **end if**

4. Experimental Results

In experiments, we use two digital images, which are shown in Figure 1. Images in Figure 1a contains approximately 5 million pixels (2738*1826) while images in Figure 1b contains approximately 10 million pixels (3873*2582). Proposed algorithm is tested on RGB images with variant number of clusters for all experiments to be able to compare the results more reasonably. Obtained segmented images for different number of clusters can be seen in Figure 1.

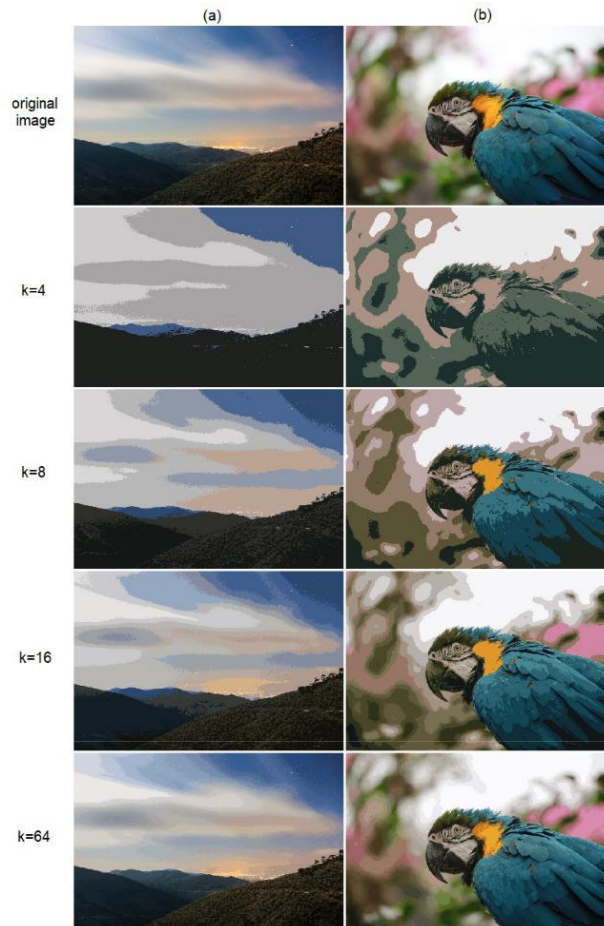


Figure 1. Output images of parallel k -means algorithm for the different number of clusters. The images on the left (a) and the images on the right (b) have approximately 5M and 10M pixels, respectively.

The experiments were conducted on Sardalya HPC Supercomputer in TUBITAK ULAKBIM High Performance and Grid Computing Center (TRUBA). Sardalya consists of 128 distributed nodes where each node contains two 14-core Intel Xeon E5-2690 processors and 256GB RAM.

In the strong scalability test, the problem size is fixed and the number of processes are varied. Figure 2 and 3 display the speedup values of the algorithm for 4 different clustering problems. The experiments were conducted on using 6 different number of cores and the speedup is calculated as follows:

$$speedup = \frac{t_{sequential}}{t_{parallel}} \quad (2)$$

where $t_{sequential}$ and $t_{parallel}$ are the sequential execution time on 1-core and parallel execution time on multiple processors, respectively.

As shown in Figure 2 and 3, when k is 64, the algorithm scales properly as the number of processes increases. Also, 10M image has higher speedup values than 5M image for each corresponded number of clusters and cores. However, when the number of cores is 96 or 128, the algorithm gives relatively lower speedup values for clustering the images into 4 or 8 clusters for both images and 16 clusters for 5M image. This experimental finding is expected due to the nature of the proposed parallel algorithm because when the number of clusters increases, the problem space, which is affecting the parallel portion of the algorithm, increases but the communication overhead remains almost the same. In other words, when the problem space becomes smaller, the communication overhead will be

more apparent which leads to low parallel performance. As a performance comparison of Figure 2 and 3, the same rule applies here too. The algorithm achieves better speedup values for the bigger image than the smaller one especially on relatively larger number of processes. As shown in Figure 3, on 128 cores, the proposed algorithm achieves more than 104.23 times faster execution than the sequential algorithm.

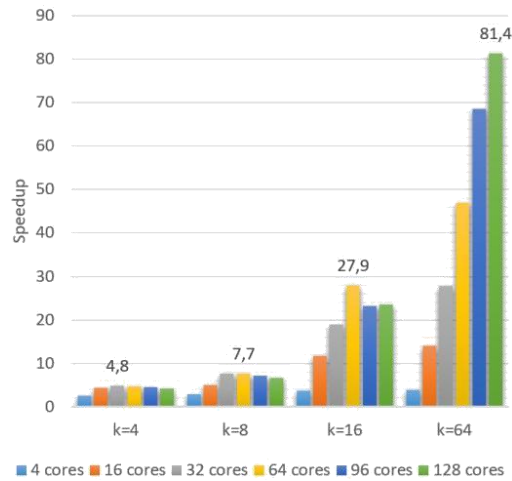


Figure 2. Speedup values for 5M image

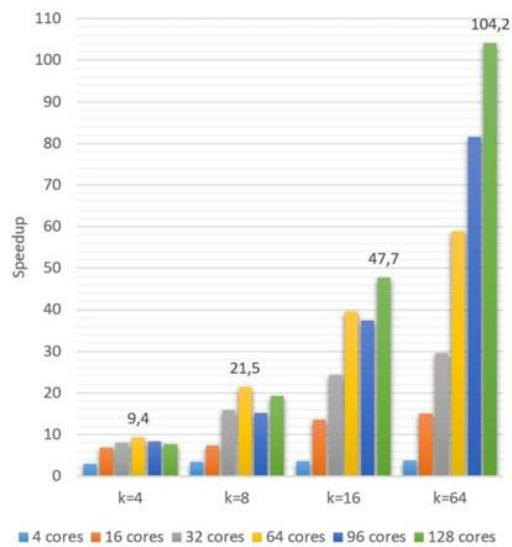


Figure 3. Speedup values for 10M image

Table 1 shows a comparison of the parallel speedup of the proposed algorithm against other studies in the literature. We note that (Wang et al., 2008) uses *k*-means algorithm to cluster 8965 e-mail messages into 3 different clusters in their provided results and (Backer et al., 2013) does not specify the number of clusters exactly however it is smaller than 1024 clusters and GPU-based parallelism is used. In the last column of Table 1, we depict the best speedup values reported by the studies. As seen in the table, the highest speedup is achieved by our proposed algorithm.

Table 1. Comparison of speedup values of our algorithm against (Bose et al., 2013; Wang et al., 2008; Backer et al., 2013; Bhimani et al., 2015)

Studies	<i>k</i>	Resolution	# Cores/Threads	Speedup
(Bose et al., 2013)	6	16,000,000	6	1.94
(Wang et al., 2008)	3	896,500	4	3.89
(Backer et al., 2013)	<1024	4,194,304	512 (CUDA)	8.66
(Bhimani et al., 2015)	240	1,396,800	160 (MPI)	28.23
(Bhimani et al., 2015)	240	1,396,800	2496 (CUDA)	30.26
Our alg.	64	10,000,086	128	104.23

5. Result and Discussion

We show the effectiveness and scalability of the proposed parallel k -means clustering algorithm that uses naïve sharding centroid initialization for 8 different image segmentation problems on distributed memory machines. The proposed parallel algorithm has $O(ikn/p)$ average-case asymptotic time complexity where p is the number of processors, n is the number of objects, k is the number of clusters and i is the number of iterations required for the convergence. Worst-case complexity of the algorithm has not changed as the changes made to adapt the algorithm to MPI are constant-time operations. The proposed algorithm scales well when the problem size and the number of processors is large. It achieves a speedup value of 104.23 on 128 cores with respect to the sequential version. Our study outperforms other studies in the literature to the best of our knowledge in terms of speedup values. Table 1 compares those studies against our algorithm. Multi-threaded implementations (Bose et al., 2013; Wang et al., 2008; Bhimani et al., 2015) (i.e. the best one is (Bhimani et al., 2015) with 29.6 speedup), which use OpenMP, attain limited speedup values compared to our study. The only study that uses MPI (Bhimani et al., 2015) obtains lower speedup values compared to ours.

As future work, we consider designing a different parallel image segmentation algorithm, which may be using Fuzzy C-means clustering, Mean-shift algorithm, or Watershed segmentation algorithm.

Acknowledgement

The numerical calculations reported in this paper were performed at TUBITAK ULAKBIM, High Performance and Grid Computing Center (TRUBA resources).

Conflict of interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Backer, M., Tünnermann, J., Mertsching, B., 2013. Parallel k -means image segmentation using sort, scan and connected components on a gpu. Springer, Facing the multicore-challenge III, 108–120.
- Bhimani, J., Leeser, M., Mi, N., 2015. Accelerating k -means clustering with parallel implementations and gpu computing. IEEE, 2015 IEEE High Performance Extreme Computing Conference (HPEC), 1–6.
- Bose, S., Mukherjee, A., Chakraborty, S., Samanta, S., Dey, N., et al., 2013. Parallel image segmentation using multi-threading and k -means algorithm. IEEE, 2013 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, 1–5.
- Delmerico, J. A., David, P., Corso, J. J., 2011. Building facade detection, segmentation, and parameter estimation for mobile robot localization and guidance. IEEE, 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 1632–1639.
- Dhanachandra, N., Mangle, K., Chanu, Y. J., 2015. Image segmentation using k -means clustering algorithm and subtractive clustering algorithm. Procedia Computer Science, 54, 764–771.
- Dhillon, I. S., Modha, D. S., 2002. A data-clustering algorithm on distributed memory multiprocessors. Springer, Large-scale parallel data mining, 245–260.
- Forouzanfar, M., Forghani, N., Teshnehlab, M., 2010. Parameter optimization of improved fuzzy c-means clustering algorithm for brain mr image segmentation. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 23(2), 160–168.
- Jain, A. K., Dubes, R. C., et al., 1988. Algorithms for clustering data, volume 6. Prentice hall Englewood Cliffs.
- Joshi, M. N., 2003. Parallel k -means algorithm on distributed memory multiprocessors. Computer, 9.
- Kantabutra, S., Couch, A. L., 2000. Parallel k -means clustering algorithm on nows. NECTEC Technical journal, 1(6), 243–247.
- Khan, J. F., Bhuiyan, S. M., Adhami, R. R., 2010. Image segmentation and shape analysis for road-sign detection. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 12(1), 83–96.
- Mayo, M. M., 2016. An arithmetic-based deterministic centroid initialization method for the k -means clustering algorithm. Columbus State University ePress.
- Ng, H., Ong, S., Foong, K., Goh, P., Nowinski, W., 2006. Medical image segmentation using k -means clustering and improved watershed algorithm. IEEE, 2006 IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation, 61–65.
- Olson, C. F., 1995. Parallel algorithms for hierarchical clustering. Parallel computing, 21(8), 1313–1325.
- Onder, A. S., Goksu, T., 2019. Real-time natural stone classification with opencl and performance analysis. Muhendislik Bilimleri ve Tasarim Dergisi, 7, 689 – 698.
- Rasmussen, E. M., Willett, P., 1989. Efficiency of hierarchic agglomerative clustering using the icl distributed array processor. Journal of Documentation, 45(1), 1–24.
- Sirotkovic, J., Dujmic, H., and Papić, V. (2012). K -means image segmentation on massively parallel gpu architecture. IEEE, 2012 Proceedings of the 35th International Convention MIPRO, 489–494.
- Stoffel, K., Belkoniene, A., 1999. Parallel k/h -means clustering for large data sets. Springer, European Conference on Parallel Processing, 1451–1454.
- Tu, Z., Chen, X., Yuille, A. L., Zhu, S.-C., 2005. Image parsing: Unifying segmentation, detection, and recognition. International Journal of computer vision, 63(2), 113–140.

- Wang, H., Zhao, J., Li, H., Wang, J., 2008. Parallel clustering algorithms for image processing on multi-core cpus. IEEE, 2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering, volume 3, 450–453.
- Xu, S., Zhang, J., 2004. A parallel hybrid web document clustering algorithm and its performance study. The Journal of Supercomputing, 30(2), 117–131.
- Yildiz, M. S., Kekezoglu, B., Isen, E., 2019. Determination of maintenance strategy for power transformers with k-means clustering method. Muhendislik Bilimleri ve Tasarim Dergisi, 7, 505 – 513.
- Zhang, J., Wu, G., Hu, X., Li, S., Hao, S., 2011. A parallel k-means clustering algorithm with mpi. IEEE, 2011 Fourth International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Programming, 60–64.
- Zhao, W., Ma, H., He, Q., 2009. Parallel k-means clustering based on mapreduce. Springer, IEEE International Conference on Cloud Computing, 674–679.



VAN İKLİM ŞARTLARINDA SU KAYNAKLI VE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ BİR ISI POMPASI İLE SERA ISITMA SİMÜLASYONU

İrfan UÇKAN^{1*}, Emre ARPACI²

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye

² Bitlis Eren Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 13100, Bitlis, Türkiye

Anahtar Kelimeler Öz

Sera,
Isı Pompası,
TRNSYS,
Enerji.

Bu çalışmada Van iklim koşullarında yer alan farklı ayar noktası sıcaklıklarına sahip iki seranın ısıtma ihtiyacının karşılanması için güneş enerjisi destekli bir su kaynaklı ısı pompası sistemi TRNSYS programı aracılığıyla modellenmiştir. Bu seralar ayar noktası sıcaklıklarına göre soğuk ve ılık sera olarak adlandırılmış olup, ayar noktası sıcaklıkları soğuk ve ılık sera için sırasıyla 6 °C ve 17 °C değerlerindedir. İki sera sistemi içinde tek katlı cam ve çift katlı polietilen (ÇPE) sera örtüsü malzemeleri kullanılmış ve yıllık ısıtma enerjisi gereksinimleri karşılaştırılmıştır. Her iki seranın ısı yükleri TRNSYS programı yardımıyla hesaplanmış ve buna göre yeterli kapasitede ısı pompası seçimi yapılmıştır. Soğuk sera sisteminde kullanılan ısı pompasının nominal ısıtma kapasitesi ve ısı pompası güç tüketim değerleri sırasıyla 30000 kJ/h ve 6000 kJ/h iken ılık sera sistemine ait ısı pompasının nominal ısıtma kapasitesi ve ısı pompası güç tüketimi sırasıyla 64252 kJ/h ve 17848 kJ/h'dir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, soğuk ve ılık serada cam sera örtüsü yerine çift katlı polietilen (ÇPE) sera örtüsü kullanımı sonucunda soğuk ve ılık serada sırasıyla yıllık % 55 ve % 44 ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanmaktadır.

GREENHOUSE HEATING SIMULATION WITH A WATER RESOURCE AND SOLAR ENERGY SUPPORTED PUMP IN VAN CLIMATE CONDITIONS

Keywords

Greenhouse,
Heat Pump,
TRNSYS,
Energy.

Abstract

In this study, a solar powered water source heat pump system was modeled through the TRNSYS program to meet the heating needs of two different types of greenhouses with different set point temperatures in Van climate conditions. These greenhouses are named as cold and warm greenhouses according to set point temperatures, and the set point temperatures are 6 °C and 17 °C respectively for cold and warm greenhouses. In two greenhouse systems, single layer glass and double layer polyethylene (ÇPE) greenhouse cover materials were used and annual heating energy requirements were compared. The heat loads of both greenhouses were calculated with the help of TRNSYS program and a sufficient capacity heat pump was selected accordingly. The nominal heating capacity and heat pump power consumption values of the heat pump used in the cold greenhouse system are 30000 kJ / h and 6000 kJ / h respectively, while the nominal heating capacity and heat pump power consumption of the warm greenhouse system is 64252 kJ / h and 17848 kJ / h, respectively. According to the results obtained in this study, as a result of the use of double-layer polyethylene greenhouse cover instead of glass greenhouse cover in cold and warm greenhouse, saves 55% and 44% heating energy for cold and warm greenhouse, respectively.

Alıntı / Cite

Uçkan, İ., Arpacı, E., (2020). Van İklim Şartlarında Su Kaynaklı ve Güneş Enerjisi Destekli Bir Isı Pompası İle Sera Isıtma Simülasyonu, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 799-807.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

İ. Uçkan, 0000-0002-1473-3016
E. Arpacı, 0000-0001-8786-3688

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	11.06.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	13.07.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	05.09.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

* İlgili yazar / Corresponding author: irfanuckan@yyu.edu.tr, +90 432 225 17 01-05

1. Giriş (Introduction)

Artan dünya nüfusu ve sanayileşme sonucunda enerji ihtiyacı da her geçen gün artmaktadır. Yüzyıllar boyunca enerji ihtiyacının karşılanmasında fosil yakıtlar en çok kullanılan kaynaklar olmuşlardır. Fakat fosil yakıtların hızla tükenmesi ve çevreye karşı olan olumsuz etkilerinden dolayı alternatif enerji kaynaklarına yöneliş görülmektedir. Literatüre bakıldığında rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi (Bingöl ve Özkaya, 2019), jeotermal enerji, hidrolik enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili yapılan çalışmaların sayısının artışı, alternatif enerji kaynaklarına yöneliş göstermektedir.

Dünyadaki enerji kaynaklarının sınırlı miktarda olması gerçeğiyle karşılaşan devletler enerji politikalarını gözden geçirmektedirler. Gerek devletlerin ve gerekse büyük firmaların son yıllardaki enerji ve üretim politikaları gözden geçirildiğinde şu ilkelerin ön planda tutulduğu görülecektir; ekonomik gelişme elde edilmesi, enerji güvencesi sağlanması, çevrenin korunması (Kandırmış, 2017).

Ülkemiz gibi enerji konusunda dışa bağımlı olan ülkeler mevcut enerji kaynaklarının etkin şekilde kullanılması için yeni çalışmalar geliştirmelidirler. Bu doğrultuda ısı pompası kullanımı ülkemizin enerji ekonomisine önemli katkılar sağlayabilir. Isı pompalarının çevre dostu olması ve elektrikli ısıtmaya göre daha ekonomik olmalarından dolayı bu sistemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada, Van bölgesi için güneş enerjisi destekli su kaynaklı bir ısı pompası ile sera ısıtma simülasyonu modellenmiştir. Modellenen ısı pompası sistemi ısı kaynağı olarak Van Gölü'nü kullanmaktadır. Ayrıca bu çalışmadaki hedeflerden birisi de güneş enerjisini ısı pompasına destek olarak kullanıp enerji verimini artırmaktır.

Bu konudaki çalışmalar deneysel teorik ve simülasyon çalışmaları olmak üzere farklı gruplara ayrılabilir. Deneysel çalışmaları incelersek, Yumrutaş ve Kaska 2004, Hacim ısıtması için bir günlük enerji depolama tankına sahip güneş enerjili ısı pompası sistemi tasarlamış, imal etmiş ve deneysel olarak termal performansını incelemişlerdir. Çalışmalarında sistem performansını değerlendirmek için güneş radyasyonunun saatlik ve günlük değişimleri, kolektör performansı, ısı pompasının tesir katsayısını (COP) ve genel sistemin performans katsayısını hesaplamışlardır. Bunlara ek olarak mevsimsel koşulları ve çalışma koşullarını da değerlendirerek bulutlu ve açık günlerin sistem performans katsayısı üzerine etkilerini karşılaştırmışlardır.

Çomaklı ve ark., 1993, tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesinde evsel ısıtma amacıyla enerji depolama tankına sahip güneş enerjisi ile çalışan ısı pompası sisteminin Performansını araştırmak için bir deneysel düzenek kurmuşlardır. Toplayıcı verimi %70, ısı pompası performansını %4,5, sistem performansını %4 ve güneş enerjisinin ısı olarak depolama verimi %60 olarak tespit etmişlerdir.

Birçok araştırmacı ısı pompalarıyla ilgili teorik çalışma gerçekleştirmiştir. Yaman Karadeniz ve Horuz, 1998, tarafından yapılan çalışmada İstanbul iklim şartlarında açık günler için, güneş enerjisi kaynaklı ısı pompasının teorik ve deneysel incelenmesi yapılmıştır. Teorik çalışmada, İstanbul şartlarında açık günler için anlık, aylık ve mevsimlik ortalama performans katsayıları ve sistemin diğer özelliklerini araştırmışlardır.

Kaygusuz 2000, ısı pompasının güneş enerjisiyle çalıştırıldığı ısıtma sisteminin performansını teorik ve deneysel olarak araştırmıştır. Çalışmasında Kasım ayından Nisan ayına kadar olan deneysel sonuçlar elde edilmiş ve ısı pompasının performans katsayısını (COP), ısıtma oranının güneş enerjisi ile karşılanma oranını, kolektör ve depolama verimini, sistemin enerji ihtiyacını incelemiştir. Ayrıca güneşle ısıtma sisteminin analizi için matematiksel bir model geliştirmiştir.

Bu konuda yapılan simülasyon çalışmalarına gelince, Yang ve ark., 2011, yaptıkları çalışmalarında hacim ısıtma amacıyla güneş enerjili bir ısı pompası simülasyonu tasarlamışlardır ve güneş kolektör yüzey alanının, depolama tankının kapasitesinin sistem performansı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yang ve ark. tarafından oluşturulan simülasyon programı elde edilen verilere göre sistemin optimizasyonunu gerçekleştiren bir fonksiyon da içermektedir.

Koçak 2012, çalışmasında hacim ısıtma amaçlı güneş enerjisi destekli su kaynaklı ısı pompası sistemi için bir bilgisayar simülasyonu oluşturmuş ve simülasyon sonucunu literatürdeki deneylerle karşılaştırarak modelin güvenilirliğini araştırmıştır. Çalışmasında hesaplamaları Antalya iklim şartlarında gerçekleştirmiştir. Depo kapasitesi, kolektör tipi ve kondenser gücünün değişiminin, depo sıcaklığı, kompresörde tüketilen güç ile ısı pompası ve tüm sistemin COP değerleri üzerine etkisini araştırmış ve sistem için optimum boyutları tespit etmiştir.

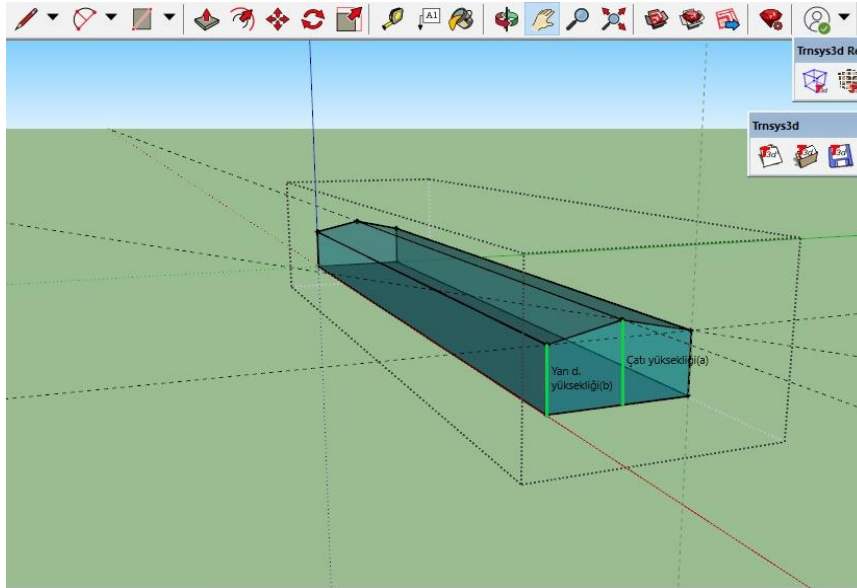
Trillat-Berdal ve ark., 2006, çalışmalarında alan ısıtma ve sıcak su ihtiyacını karşılamak amacıyla jeotermal ısı pompalarının güneş kolektörleriyle birleştirilmesi ile farklı konfigürasyonların modellemesini TRNSYS yazılımı

yardımları ile yapmışlardır. Çalışmalarında çevresel, ekonomik ve enerji performansı açısından en uygun sistemin analizini gerçekleştirmişlerdir.

Collins ve ark., 2013, çalışmalarında bir evsel sıcak su tankına sahip güneş enerjisi destekli ısı pompası sisteminin performansını incelemişlerdir. Simülasyon sonuçlarını deneysel çalışma ile karşılaştırmış ve simülasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki uyumun çok güçlü olduğunu tespit etmişlerdir.

2. Sistemin Tanımlanması (System Identification)

Bu çalışmada modellenen seranın tasarımı Google Sketchup programı aracılığıyla yapılmıştır. Program yardımıyla çizilen model TRNSYS17 programına aktarılmıştır. Çizilen sera modeli Şekil 1'de gösterilmiştir. Modellenen serada sızıntılardan dolayı oluşabilecek hava değişimi için, saatte bir yarım oda hava değişimi 0.5 1/h olarak alınmıştır. Modern seralarda hava değişimi 0.5-1.5 1/h aralığındadır (Anonim, 2019a).



Şekil 1. Google Sketchup programı ile modellenen sera (Greenhouse modeled with Google Sketchup program)

Bu çalışmada sera örtüsü olarak kullanılan tek katlı cam ve çift katlı polietilen (ÇPE) malzemelerinin toplam ısı transfer katsayıları sırasıyla 5.68 W/m²K ve 3.86 W/m²K değerindedir. Tasarlanan güneş enerjisi destekli ısı pompalı sera ısıtma sisteminde, her iki sera içinde (soğuk ve ılık sera) sera örtüsü malzemesi olarak çift katlı polietilen (ÇPE) kullanılmıştır. Modellenen seranın geometrik özellikleri Tablo 1.'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Sera modelinin geometrik özellikleri (Geometric features of the greenhouse model)

Sera modelinin geometrik özellikleri	Uzunluk(m)
Sera tabanı genişliği	4
Sera tabanı uzunluğu	25
Yan duvar yüksekliği (b)	1.75
Sera çatı yüksekliği (a)	2.2

2.1. Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompasının TRNSYS İle Modellenmesi (Modeling of Solar Powered Heat Pump With TRNSYS)

TRNSYS simülasyonları ve sistemin gerçek davranışı arasında iyi bir korelasyon vardır. Bundan dolayı ısı pompası modellemelerinde TRNSYS yaygın olarak kullanılmaktadır. Modellenen simülasyonların başlangıcı 0, bitiş 8760 saat olarak alınmıştır. Bu değerler bir yıllık zaman aralığını göstermektedir. Simülasyon zaman adımı 5 dk (0.833 saat) alınmıştır.

Kontrol stratejisi ve sistemdeki elemanların özellikleri aşağıda verilmektedir;

Isı pompası: Soğuk sera sisteminde kullanılan ısı pompasının nominal ısıtma kapasitesi ve ısıtma esnasında tükettiği güç sırasıyla 30000 kJ/h ve 6000 kJ/h değerlerindedir ve Trane WPWD 025 ısı pompası modeline ait katalog değerleri kullanılmıştır. (Anonim, 2019b) Ilık sera ısıtması için kullanılan ısı pompasının nominal ısıtma kapasitesi ve ısı pompası güç tüketimi sırasıyla 64252 kJ/h ve 17848 kJ/h değerlerindedir ve Trane EXW 060 ısı pompası modeline ait katalog değerleri kullanılmıştır. (Anonim, 2019b) Isı pompasının kontrolü bir kontrol elemanı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kontrol elemanı tank ortalama sıcaklığını izlemektedir. Kontrol elemanı aracılığıyla, sera ısıtma ihtiyacı olan zaman aralığında tank ortalama sıcaklığı 45°C'nin altına düştüğünde ısı pompası, tank pompası, eşanjör pompası ve göl pompası devreye girmektedir, tank ortalama sıcaklığı 48°C'nin üzerine çıktığında ise ısı pompası döngüsü (ısı pompası, göl pompası, tank pompası, eşanjör pompası) durmaktadır.

Isı pompası performans katsayısı ve sistemin performans katsayısı aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır:

$$COP_h = \frac{Q_H}{W_{hp}} \quad (1)$$

$$COP_{sys} = \frac{Q_H}{(W_{hp} + W_{pumps} + W_{fc})} \quad (2)$$

Depolama tankı: Bu sistem elemanın hacmi 1 m³ olarak alınmıştır. Bir kontrol elemanı aracılığıyla tankın ortalama sıcaklığı ısıtma ihtiyacı olan zamanlarda (ısıtma sezonunda) 45-48°C aralığında tutulmuştur. Tank içindeki akışkan % 38 propilen glikol-su karışımıdır.

Güneş kolektörü: TRNSYS17 kütüphanesinde "Type 1b" olarak bulunan düzlemsel güneş kolektörü seçilmiştir. Güneş kolektörünün ısı verimi şu şekildedir:

$$\eta = a_0 - a_1 \frac{(\Delta T)}{I_T} - a_2 \frac{(\Delta T)^2}{I_T} \quad (3)$$

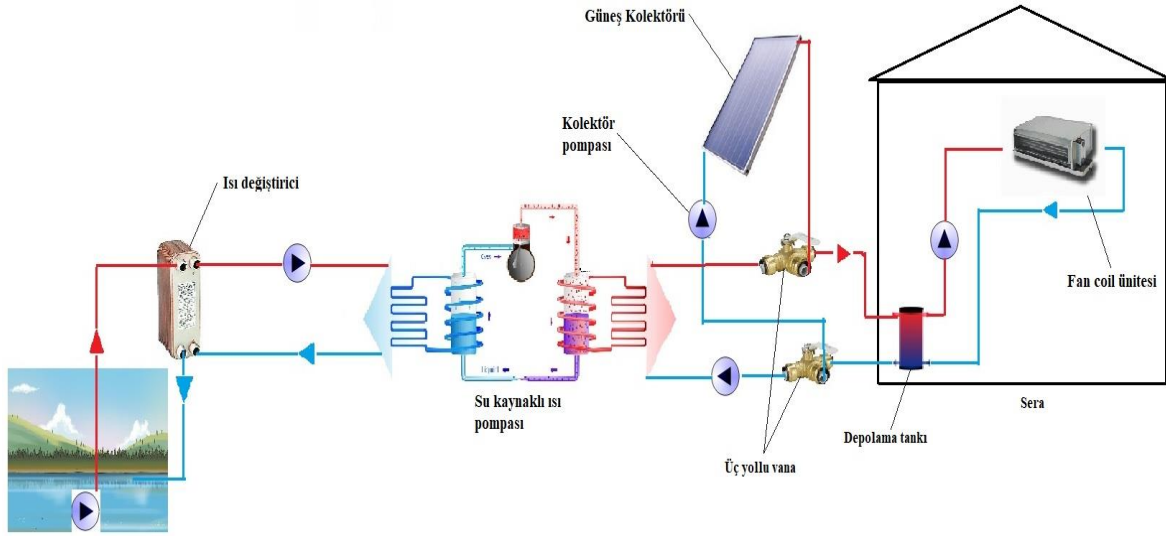
Depolama tankının alt katmanından çekilen akışkan bir kolektör pompası aracılığıyla kolektöre gönderilmekte ve ısınan akışkan tekrar tankın üst katmanına geri gönderilmektedir. Güneş kolektörü çıkış sıcaklığını izleyen bir kontrol elemanı, kolektör çıkış sıcaklığını tank ortalama sıcaklığıyla karşılaştırmaktadır. Eğer aradaki fark aradaki fark 5°C'nin üzerindeyse kolektör pompası çalışır hale gelmektedir ve aradaki sıcaklık 2 °C olana kadar çalışmaktadır.

Oda termostati ve gölgelendirme kontrol: Modellenen simülasyonlarda sera sıcaklığı oda termostati yardımıyla kontrol edilmiştir. Oda termostati, ayar noktası sıcaklığı soğuk sera için 6 °C, ılık sera için ise 17 °C ayarlanmıştır. Soğuk serada sera sıcaklığı 5°C, ılık serada ise sera sıcaklığı 16°C'nin altına düşerse fan coiller oda termostati kontrolüyle devreye girmektedir.

Yaz sezonunda sera içindeki aşırı sıcaklık bitkilere zarar verir. Bundan dolayı seranın çatısına güneşlik örtüsü eklenmiştir ve sera sıcaklığı 35°C'den fazla olursa kontrol elemanı aracılığıyla güneşlik örtüsü devreye girmektedir. Böylece seranın çatısından güneş ışınımı girişi engellenmektedir.

Pompalar: Sistemdeki pompalar, TRNSYS kütüphanesinde bulunan "Type 114" kullanılarak modellenmiştir. Bu bileşen, 0 veya 1 kontrol sinyali ile kontrol edilmektedir. Tanımlanan maksimum debiyi kontrol sinyali 1 olması durumunda sağlar. 0 durumunda ise pompa kapalı durumdadır.

Şekil 2'de modellenen güneş destekli ısı pompası sisteminin şeması gösterilmiştir. TRNSYS programında tasarlanan sistemin görünümü ise Şekil 3'te verilmiştir



Şekil 2. Güneş enerjisi destekli ısı pompası sisteminin şematik görüntüsü (Schematic view of the solar assisted heat pump system)

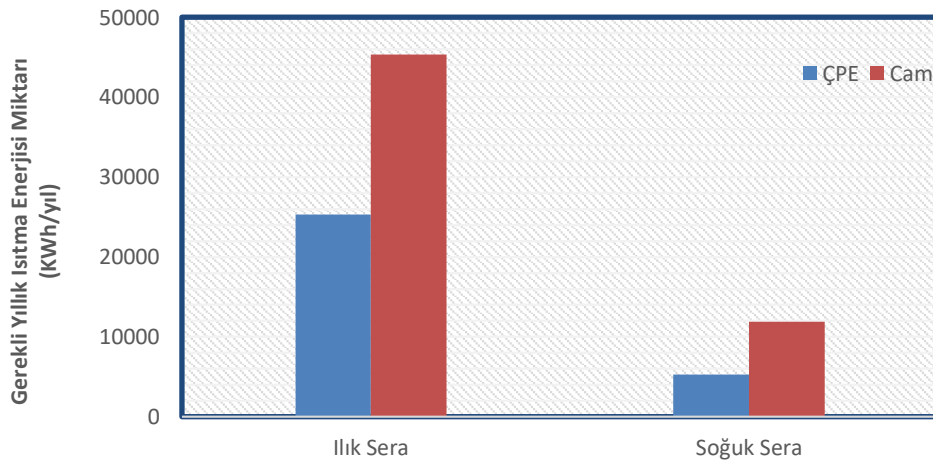
3. Isı yükünün Hesaplanması (Calculation of Heat Load)

Isı yükü, yapıyı istenen sıcaklıkta tutmak için ısı üreticisinden istenen maksimum saatlik ısı çıkışı olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada seraların ısı yükleri TRNSYS programının alt sürümü olan TRNBuild aracılığıyla hesaplanmıştır. TRNBuild basit varsayımlardan ziyade hava koşullarını ve çeşitli parametreleri hesaba katarak bir mahallin ısı yükünü dinamik olarak yapabilen kompleks bir alt programdır. Yeterli kapasitedeki ısı pompası seçmek için ısı yükü hesaplanmalıdır. TRNSYS ile ısı yükünü hesaplamak için "Type 56" bileşenini kullanmak gerekmektedir. Bu bileşen modellenen mahallin özelliklerini içermektedir.

Bu çalışmada Van iklim koşullarında ki Tablo 1'de özellikleri verilen 100 m² taban alanlı seranın maksimum ısı yükü, yılın en soğuk günü olan 16 Ocak'ta oluşmuştur.

4. Araştırma Bulguları (Findings)

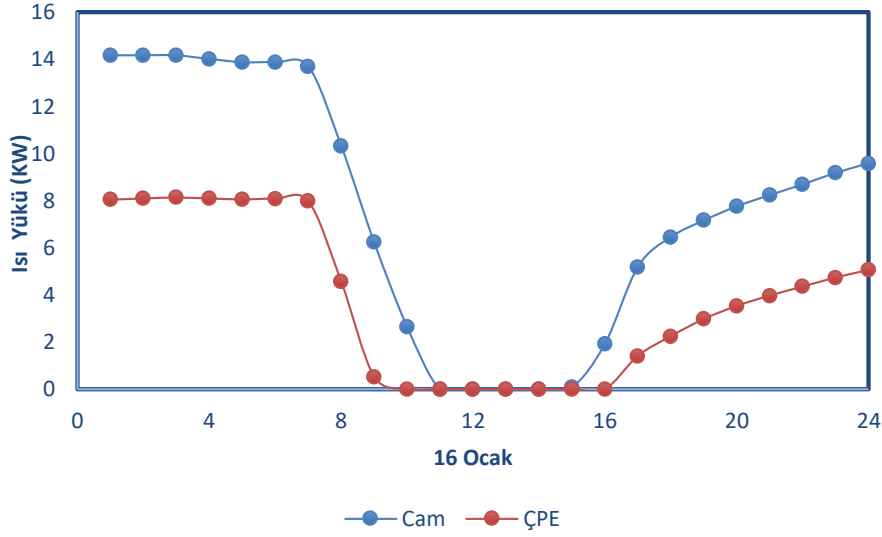
Soğuk ve ılık seranın yıllık ısıtma enerjisinin cam ve çift katlı polietilen(ÇPE) sera örtüsü kullanımı sonucunda değişimi Şekil 4'te gösterilmektedir. Soğuk sera için yıllık gerekli ısıtma enerjileri cam ve ÇPE sera örtüleri için sırasıyla 11863 kWh ve 5269 kWh değerlerindedir. Ilık sera için ise yıllık gerekli ısıtma enerjileri cam ve ÇPE sera örtüleri için sırasıyla 45351 kWh ve 25288 kWh değerlerindedir.



Şekil 4. Farklı sera örtüsü malzemelerinin kullanımında ısıtma enerji değişimleri (Heating energy changes in the use of different greenhouse cover materials)

Soğuk serada sera örtüsü olarak tek katlı cam yerine, çift katlı polietilen kullanımı yıllık % 55 enerji tasarrufu sağlarken ılık serada ise çift katlı polietilen kullanımı yıllık %44 enerji tasarrufu sağlamaktadır.

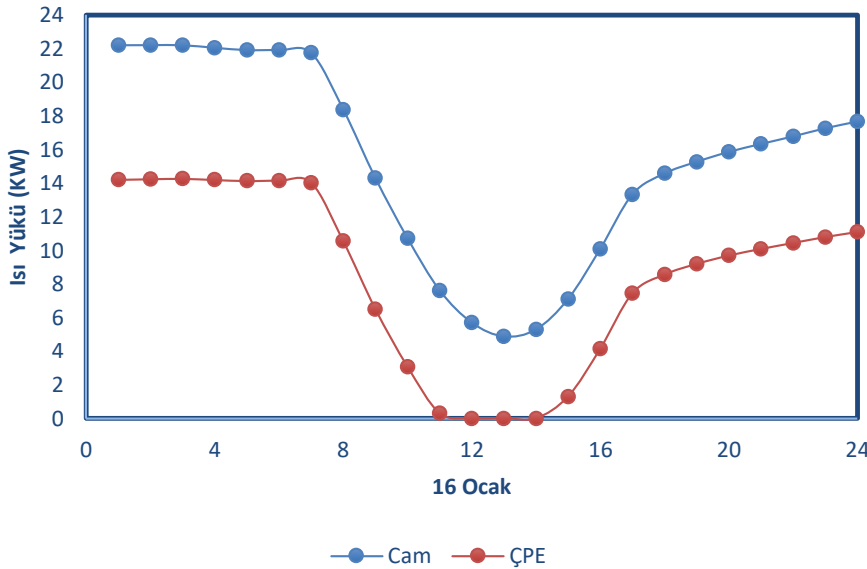
Soğuk seranın yılın en soğuk günü olan 16 Ocak'ta cam ve çift katlı polietilen sera örtüsü kullanımı sonucunda ısı yüklerinin saatlik değişimi Şekil 5'te gösterilmektedir. Maksimum ısı yükü cam için 14.17 kW iken çift katlı polietilen 'de ise 8.14 kW değerindedir.



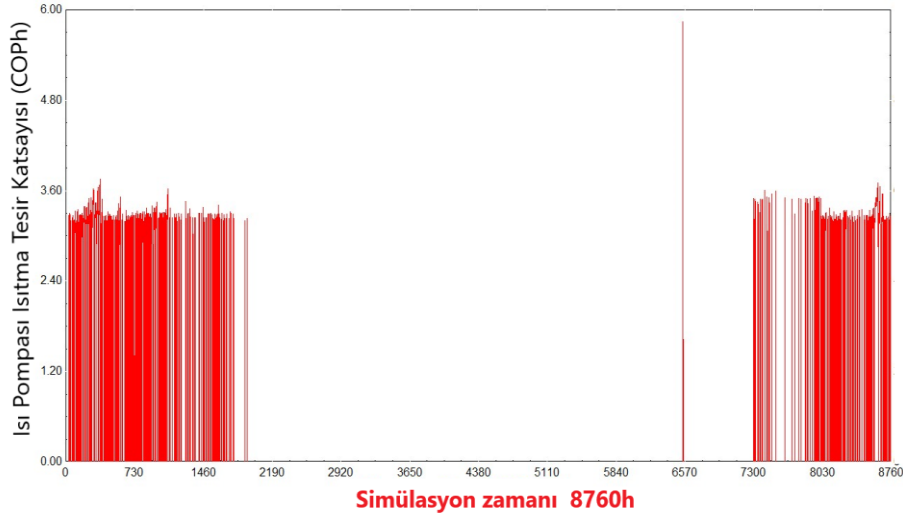
Şekil 5. Isı yükünün en soğuk günde farklı sera örtüleri için değişimi (Change of heat load for different greenhouse covers on the coldest day)

Ilık seranın yılın en soğuk günü olan 16 Ocak'ta cam ve çift katlı polietilen sera örtüsü kullanımı sonucunda ısı yüklerinin saatlik değişimi Şekil 6'da gösterilmektedir. Maksimum ısı yükü cam için 22.2 kW iken çift katlı polietilen 'de ise 14.26 kW değerindedir.

Soğuk sera sistemindeki ısı pompasının zamana bağlı olarak ısıtma performans katsayısı (COPh) değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 2160-6552 saatleri arası Nisan-Eylül ayları arasındaki zamanı (bu aylar dahil) belirtmektedir. Isı pompası bu zaman aralığında çalışmamaktadır.

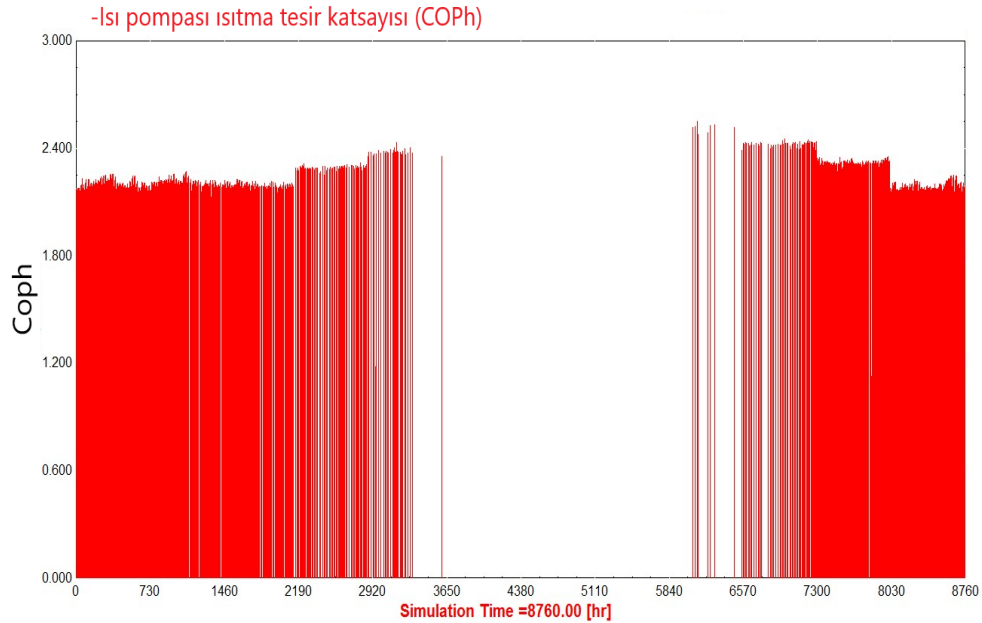


Şekil 6. Isı yükünün en soğuk günde farklı sera örtüleri için değişimi (Variation of the heat load for different greenhouse covers on the coldest day)



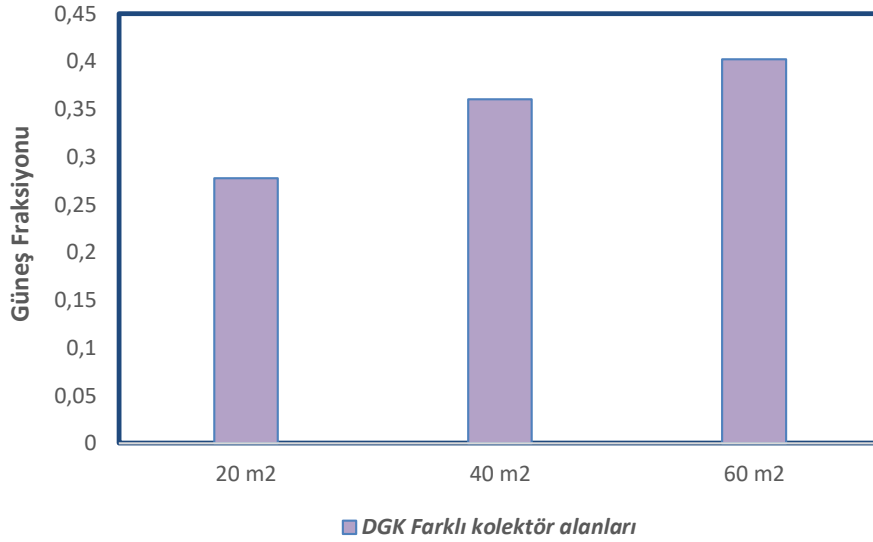
Şekil 7. Isı pompasının bir yıllık performans katsayısı değişimi (One year performance coefficient change of the heat pump)

Soğuk sera sistemindeki ısı pompasının yıllık ortalama ısı pompası performans katsayısı (COPh) 3.12 olarak hesaplanırken yıllık ortalama sistemin performans katsayısı (COPsys) ise 2.53 olarak hesaplanmıştır. Şekilde görülen aynı aydaki COP artışları güneş enerjisi desteğinden kaynaklanmaktadır. Güneşli günlerde güneş ışınımından yararlanılmıştır. Buda COP artışına neden olmaktadır. Ilık sera sistemindeki ısı pompasının performans katsayısı (COPh) değişimi Şekil 8’de gösterilmiştir. Ilık sera sistemindeki ısı pompasının yıllık ortalama ısı pompası performans katsayısı (COPh) 2.21 olarak hesaplanırken yıllık ortalama sistemin performans katsayısı (COPsys) ise 1.83 olarak hesaplanmıştır.



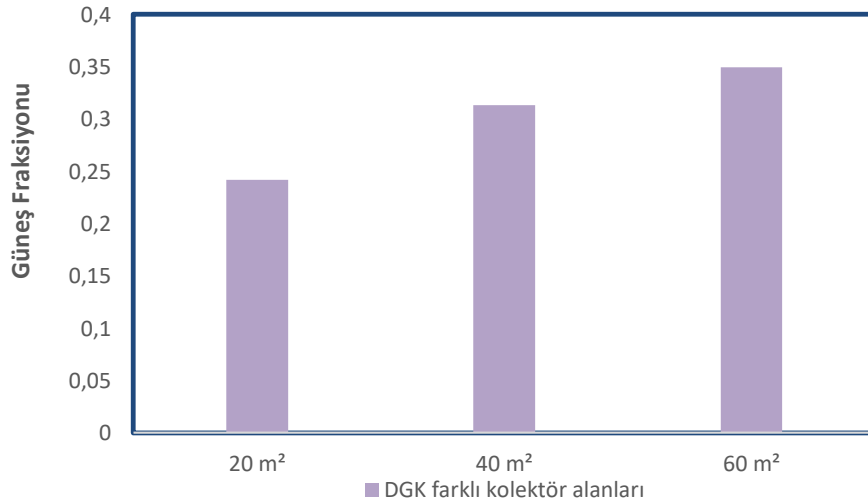
Şekil 8. Isı pompasının bir yıllık performans katsayısı değişimi (One year performance coefficient change of the heat pump)

Soğuk sera için güneş fraksiyonunun farklı alanlardaki düzlemsel güneş kolektörü (DGK) kullanımı sonucundaki değişimi Şekil 9’da gösterilmiştir. Güneş fraksiyonu (SF) 20 m² kolektör alanında % 27.7 oranında iken 60 m² kolektör alanında bu oran % 40.2 değerindedir. Güneş fraksiyonu güneşten sağlanan enerjiyi belirtmektedir. Dolayısıyla kolektör alanı artıkça güneş fraksiyonunun artması beklenen bir durumdur.



Şekil 9. Soğuk serada güneş fraksiyonunun farklı kolektör alanları için değişimi (Change of solar fraction for different collector areas in cold greenhouse)

Ilık sera için güneş fraksiyonunun farklı alanlardaki düzlemsel güneş kolektörü (DGK) kullanımı sonucundaki değişimi ise Şekil 10'da gösterilmiştir. Kolektör alanı artıkça güneşten sağlanan enerji artmıştır. 20 m² kolektör alanında güneş fraksiyonu (SF) yüzde %24.2 iken 60 m² kolektör alanında bu oran %34.9 olarak hesaplanmıştır. Kolektör alanının artması güneş fraksiyonunu da artırmıştır ve bu beklenen bir durumdur.



Şekil 10. Ilık serada güneş fraksiyonunun farklı kolektör alanları için değişimi (Variation of the solar fraction for different collector areas in the warm greenhouse)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmanın amacı, Van iklim şartlarında yer alan farklı ayar noktası sıcaklıklarına sahip iki seranın ısıtılması için TRNSYS programı aracılığıyla bir güneş enerjisi destekli su kaynaklı ısı pompası tasarlamaktır. Soğuk ve ılık sera için seralarda yaygın olarak kullanılan tek katlı cam ve polietilen sera örtüsü malzemelerinin yıllık ısıtma enerjisi gereksinimleri karşılaştırılmıştır. Çift katlı polietilen kullanımı cam sera örtüsüne göre soğuk serada yıllık %55 enerji tasarrufu sağlarken ılık serada ise yıllık % 44 enerji tasarrufu sağlamıştır.

Güneş enerjisi desteği sağlamak ve ısı pompası güç tüketimini azaltmak için kullanılan 20 m² yüzey alanlı düzlemsel güneş kolektörü sonucunda güneş fraksiyonu (SF) soğuk sera 'da %27.7 değerinde iken ılık serada

%24.2 değerinde bulunmuştur. Bu oranlar modellenen sistemin yıllık enerji tüketiminin her iki sera sistemi içinde yüzde %20'den fazlasının güneşten karşılandığını göstermektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kısaltmalar (Abbreviations)

COP _h	:Isı pompası performans katsayısı
COP _{sys}	:Sistemin performans katsayısı
ÇPE	:Çift katlı polietilen sera örtüsü
DGK	:Düzlemsel güneş kolektörü
SF	:Güneş Fraksiyonu
QH	:Isı pompasının verdiği ısı miktarı [kJ/hr]
η	:Kolektör verimi
I _T	:Kolektörün birim alana düşen depolayabildiği enerji miktarı
Δ T	:Kolektör akışkan giriş sıcaklığı ve ortam sıcaklığı arasındaki fark
Wh _p	:Isı pompası güç tüketimi[kJ/hr]
W _{pumps}	:Sistemdeki pompaların güç tüketimi [kJ/hr]
W _{fc}	:Fan coilin harcadığı enerji[kJ/hr]

Kaynaklar (References)

- Anonim, 2019a. Wisconsin Üniversitesi, Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Bölümü. "https://fyi.extension.wisc.edu/energy/greenhouses/infiltration-losses/"
- Anonim, 2019b. www.trane.com, Model EXW060 ve Model WPWD024, Trane ürün kataloğu.
- Collins, R.M., Wagar R.W., Banister, J.C., 2013. Validation of a Single Tank, Multi-mode Solar-assisted Heat Pump TRNSYS Model, Energy Procedia 48 (2014) 499 – 504
- Bingöl, O. Özkaya, B. 2019. A Comprehensive Overview Of Soft Computing Based Mppt Techniques For Partial Shading Conditions in Pv Systems, Journal of Engineering Sciences and Design, 7(4), 926 – 939.
- Çomaklı, Ö., Kaygusuz, K. and Ayhan, T., 1993. Solar assisted Heat Pump and Energy Storage for Residential Heating, Solar Energy, 51 (5), 357-366
- Kandırımı, G., 2017. Isı Pompası Destekli Güneş Enerjili Bir Su Isıtma Sisteminin TRNSYS Programı İle Simülasyonu. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Kaygusuz, K. 2000. Experimental and theoretical investigation of a solar heating system with heat pump. Renewable Energy, 21: 79-102.
- Koçak, S., 2012. Hacim Isıtma Amaçlı Güneş Enerjisi Destekli Su Kaynaklı Isı Pompası Çevriminin Teorik Analizi. Akdeniz üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 175s, Antalya
- Trillat-Berdal, V., Souyri, B., and Achard, G., 2007. Coupling of geothermal heat pumps with thermal solar collectors. Applied Thermal Engineering, 27 (10): 1750-1755.
- Yamankaradeniz, R., Horuz, I., 1998. The Theoretical and Experimental Investigation of the Characteristics of Solar-assisted Heat Pump for Clear Days, International Communications in Heat and Mass Transfer, 25 (6), 885-898, 19
- Yang, W., Zhu, J., Shi, M. and Chen, Z. 2011. Numerical simulation of the performance of a solar – assisted heat pump heating system. Procedia Environmental Sciences, 11: 790-797.
- Yumrutas, R. and Kaska, O. 2004. Experimental investigation of thermal performance of solar assisted heat pump system with an energy storage. International Journal of Energy Research, 28: 163-175.



ÜSTTEN AKIŞLI KAPAK AKIMININ SAYISAL MODELLEMESİ

Oğuz ŞİMŞEK*

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Akışkan Hacimleri Yöntemi,
Basınç Dağılımları,
Daralma Katsayısı,
Üstten Akışlı Kapak,
Sayısal Modelleme.*

Öz

Pivot savak olarak adlandırılan üstten akışlı kapaklar, açık kanal akımlarında akımı kontrol etmek ve düzenlemek için oldukça sık kullanılmaktadır. Pivot savaklar, istenilen seviyede su alma imkânı ve seviye kontrolü sağlamasından dolayı diğer savak türlerine göre daha avantajlıdır. Bu çalışmada, kanal tabanına farklı açılarda yerleştirilmiş üstten akışlı kapak üzerinden geçen akım sayısal olarak modellenmiştir. Sayısal modellemede akımı idare eden temel denklemler, sonlu hacimler yöntemine dayalı çözüm yapan ANSYS- Fluent paket programı yardımıyla, Reynolds Gerilme Modeli (Reynolds Stress Model-RSM) kullanılarak çözülmüştür. Su-hava arakesitinin belirlenmesinde ise akışkan hacimleri yöntemi kullanılmıştır. 6 farklı kapak açısında, RSM türbülans modeli kullanılarak elde edilen sayısal su yüzü profilleri, vena kontratta noktasının özellikleri ve daralma katsayıları, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, akım çizgilerinde eğriselliğin bulunduğu akımlarda başarılı sonuçlar veren RSM modelinin, farklı açılara sahip üstten akışlı kapak üzerinden geçen akımın sayısal modellemesinde başarılı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, sayısal olarak elde edilen hız, dinamik basınç ve akım çizgilerinin dağılımları değerlendirilmiştir.

NUMERICAL MODELING OF OVERSHOT GATE FLOW

Keywords

*Volume of Fluid Method,
Pressure Distribution,
Contraction Coefficient,
Overshot Gate,
Numerical Modeling.*

Abstract

Overshot gates, called pivot weir, are often used to control the flow, and regulate flow depth in open channel flows. Pivot weirs are advantageous compared to other weir types because they provide the desired level of water intake and level control. In this study, the flow passing overshoot gate placed at different angles to the channel bottom is numerically modeled. In numerical modeling, the basic equations that govern of the flow are solved using the Reynolds Stress Model (RSM) with the help of ANSYS-Fluent package program, which makes a solution based on finite volumes method. Volume of Fluid Method (VOF) was used to determine the water-air intersection. Numerical water surface profiles, the properties of the vena contract and contraction coefficients obtained using the RSM turbulence model at 6 different gate angles, were compared with experimental surface profiles and values. As a result of the comparison, it was determined that the RSM model, gives successful results in flows with curvature in the streamlines, is successful in numerical modeling of the overshoot gate flow with different angles. In addition, velocity, dynamic pressure and streamlines distributions obtained numerically were evaluated.

Alıntı / Cite

Şimşek, O., (2020). Üstten Akışlı Kapak Akımının Sayısal Modellemesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 808-819.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

O. Şimşek, 0000-0001-6324-0229

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	15.06.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	26.08.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	04.09.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

* İlgili yazar / Corresponding author: oguzsimsek@harran.edu.tr, +90-414-318-3000/3786

1. Giriş (Introduction)

Savaklar akarsu, sulama ve drenaj kanallarında akım debisini ölçmek, savak memba bölgesinde su seviyesini belirlemek, kontrol etmek, düzenlemek ve dengelemek için sıklıkla kullanılan hidrolik yapılardır. Savaklar, akarsu veya kanal en kesitini tamamen kapatacak şekilde akıma dik doğrultuda inşa edilirler. Savak yapısının akım alanına inşa edilmesiyle, akarsu yatağında veya açık kanal içerisinde akım rejiminde değişiklikler meydana gelmektedir (savak membasında-kritik altı, savak üzerinde-kritik ve savak mansabında kritik üstü). Savak üzerinde oluşan kritik akım derinliğinin doğru belirlenmesiyle akımın debisi ölçülebilmektedir.

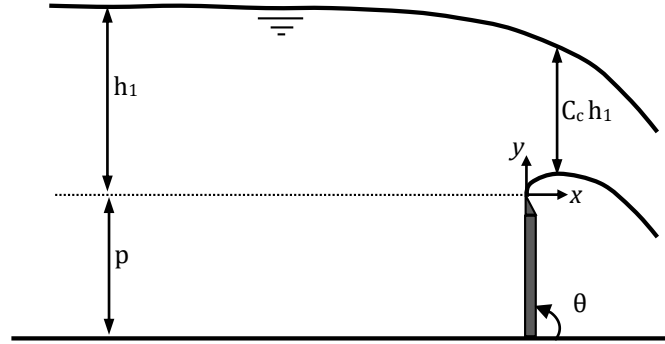
Savaklar, farklı tip ve geometride inşa edilmesinin yanında, genellikle keskin kenarlı veya geniş başlıklı tipleri diğer tiplere kıyasla daha yaygın olarak tercih edilmektedir. Üstten akışlı savaklar, akım alanına dik doğrultuda yerleştirilen, su ile temas eden yüzeyinin keskin olduğu düzlemsel plakalar olarak kullanılmaktadır. Pivot savak olarak da anılan üstünden akışlı kapaklar ile etkileşimde bulunan akımın, savak memba bölgesinde birikmesi ve sonrasında savak üzerinde aşması ne kadar karmaşık akım problemi olarak görülse de akımın savak üzerinden aşması durumunda düşey yöndeki akım hızı ve ivmesi önemli role sahip olmaktadır. Üstten akışlı savaklar, akımın memba bölgesinde meydana gelen dalgaları sönmüleme, savak yüksekliğinin değişkenlik göstermesinden dolayı istenilen seviyede akım derinliğini ayarlama ve işletme kolaylığı sağlaması yönüyle, diğer savak tiplerine üstünlük sağlamaktadır. Üstten akışlı savaklar ve diğer savak türleriyle etkileşim halinde olan akımlarla ilgili fiziksel model çalışmaları laboratuvar ortamında gerçekleştirilebilmektedir (Harrison vd., 1969; Wahlin ve Replogle, 1994; Gonzalez ve Chanson, 2007; Machiels vd., 2011). Savak yapısının tasarımının gerçekleştirilebilmesi için akımın hız alanı, derinliği ve basınç dağılımı gibi bazı özelliklerin elde edilmesi gerekmektedir. Akımla ilgili bu özelliklerin elde edilmesi için özel ölçüm aletlerinin kullanılması zorunlu hale gelmektedir. Bu durum, fiziksel model çalışmaları yapan kişileri maddi olarak zorlamaktadır. Ayrıca, fiziksel model çalışmalarında, ölçüm yapılan aletlerin ve ölçümü yapan kişilerin ölçüm hassasiyetinden kaynaklı hatalarda bulunmaktadır. Son yıllarda teknolojiye meydana gelen gelişmeler, bilgisayarların hidrolik mühendisliği alanındaki karmaşık problemlerin çözümünde kullanımını yaygınlaştırmıştır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği-HAD (Computational Fluid Dynamics-CFD) yöntemlerine dayalı bilgisayar yazılımlarında meydana gelen bu gelişmeler, farklı yapı ve akım kombinasyonları için akımla ilgili birçok parametrenin elde edilebilme kolaylığı sağlamaktadır. Ayrıca, bu yöntemler fiziksel model çalışmalarına kıyasla, akımla ilgili daha fazla bilgi edinme imkânı vermesinin yanında, fiziksel model çalışmasının gerçekleştirilmesi için kullanılan malzeme ve insan gücü açısından daha az kaynak gerektirmesiyle de büyük avantajlara sahiptir. Bilgisayar yazılımları, farklı su yapı etkileşiminin bulunduğu karmaşık akım problemlerin sayısal modellemesinde son yıllarda araştırmacılar tarafından oldukça sık kullanılmaktadır (Kirkgoz vd., 2008; Kirkgoz vd., 2009; Muslu, 2001; Aydın ,2012; Soydan vd., 2012; Akoz vd., 2014; İlkentapan ve Öner, 2017; Mahdavi ve Shahkarami, 2020; Soydan vd., 2020). Sayısal modellemenin yapıldığı çalışmalarda, Reynolds Gerilme Modeli (Reynolds Stress Model-RSM) akımda eğriselliğin, ayrılmaların ve ikincil akımların bulunduğu akım problemlerin çözümünde oldukça başarılı olan sonuçlar verdiği araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Ayrıca birçok çalışmada, su yüzü profillerinin belirlenmesi için akışkan hacimleri yönteminin tercih edildiği ve akışkan hacimleri yöntemi kullanılarak elde edilen su yüzü profillerinin deneysel bulgularla karşılaştırma sonucunda oldukça başarılı olduğu ifade edilmiştir.

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında kanal tabanına farklı açılarda yerleştirilmiş üstten akışlı kapak üzerinden geçen akımın sayısal modellemesi yapılmıştır. Akımın hareketini idare eden temel denklemler, sonlu hacimler yöntemine dayalı olarak çözüm yapan ANSYS-Fluent paket programı yardımıyla, RSM türbülans modeli kullanılarak çözülmüştür. Su yüzünün teorik olarak belirlenmesinde ise Akışkan Hacimleri (Volume of Fluid-VOF) yöntemi kullanılmıştır. Sayısal modellerden elde edilen akım su napı profilleri ve daralma katsayıları deneysel olarak elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Sayısal modellemenin üstten akışlı kapak akımını tahmin etmedeki başarısı değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, deneysel ve sayısal model bulgularının karşılaştırılması sonucunda, sayısal model sonuçlarının güvenilirliğinin artması ve sayısal model sonuçlarının doğrulanması amaçlanmıştır. Diğer bir ifadeyle farklı akım yapı etkileşimi problemlerinin çözümünde sayısal modelleme tekniklerinin kullanımına örnek olması hedeflenmiştir.

2. Deneysel Çalışma (Experimental Study)

Deneysel, Amerika Islah Kurumu (the US Bureau of Reclamation- USBR) tarafından 1948 yılında laboratuvar ortamında yapılmıştır (USBR, 1948). USBR'da bulunan araştırmacılar tarafından üstten akışlı savaklara benzemesinden dolayı keskin kenarlı savak üzerinden geçen akım fiziksel olarak modellenmiştir. Çalışmada kullanılan keskin kenarlı savağın kret genişliği 1.2m, savak yüksekliği (p) kapak açısının 90° olduğu durumda 0.61m olarak ayarlanmıştır. Farklı açılarda gerçekleştirilen fiziksel model çalışmalarında h_1/p değeri 0.5 olarak sabit alınmıştır (Şekil 1). Burada h_1 savak kretinden su derinliğini temsil etmektedir. Farklı açı durumlarında bu oranın ayarlanması için açının azaldığı durumlarda savak yüzü uzunluğu arttırılmıştır. Fiziksel model çalışmalarında, kullanılan üstten akışlı kapak $\theta=90^\circ$, 71.57° , 56.31° , 45° , 26.57° ve 14.04° farklı açılarda tabana

yerleştirilmiştir. 6 farklı kapak açıklığında su alt ve üst napının profili 387 l/s'lik debi durumu için elde edilmiştir. Akım üstten akışlı kapak üzerinden geçerek serbest dökülmesinden dolayı akım alanında eğrisel yörüngeye sahip olmaktadır. Bu eğriselliğin miktarının belirlenmesi için vena kontratta bölgesinin, savak kretine göre konumu deneysel olarak belirlenmiştir. Farklı kapak açılarında elde edilen vena kontratta bölgesinin özellikleri kullanılarak daralma katsayısı (C_c) hesaplanmıştır.



Şekil 1. Üstten akışlı kapak akımının şematik gösterimi (Schematic view of overshoot gate flow)

3. Sayısal Modelleme (Numerical Modeling)

Fiziksel model çalışmalarının zaman ve insan gücü açısından oldukça masraflı olması, ölçek ve insan kaynaklı hataların sonuçlar üzerinde etkili olmasından dolayı, araştırmalar son yıllarda HAD tekniklerinin kullanıldığı bilgisayarlar yazılımlarının gelişmesiyle birlikte, sayısal model çalışmalarına yönelmiştir. Karmaşık akım problemlerinin fiziksel olarak çözülmesi ve akım ile ilgili bazı karakteristik büyüklüklerin elde edilme imkânı bulunmadığı durumlarda sayısal model çalışmaları oldukça etkin kullanılmaktadır. Dolusavak yapısının geometrisini oluşturan üstten akışlı kapak üzerinden geçen akımın analizinin doğru bir şekilde yapılması, yapı güvenliği ve verimliliği açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle, üstten akışlı kapakla etkileşim halinde olan açık akımın fiziksel olarak modellenmesi sonucunda elde edilen veriler sayısal model bulgularıyla karşılaştırılarak, sayısal modelleme sonuçlarının doğrulanması amaçlanmıştır. Akım alanında z doğrultusunda herhangi bir yapısal düzenlemenin bulunmamasından (daralma veya genişleme olmaması) dolayı ve üç boyutlu analizini iki boyutlu analizlere kıyasla daha fazla zaman, depolama ve bilgisayar özelliği gerektirmesinden dolayı sayısal modellemede analizler iki boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir.

3.1. Temel Denklemler ve Türbülans Modeli (Basic Equations and Turbulence Model)

Üstten akışlı kapak ile etkileşimde olan açık kanal akımı serbest yüzeyli, düzenli, iki boyutlu, sıkışmayan ve türbülanslı bir akım türüdür. Bu akım türünün hareketini idare eden temel denklemler (süreklilik, x ve y doğrultusundaki momentum) sırasıyla Eşitlik 1, 2 ve 3'te verilmiştir.

Kütlenin korunumu:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

x doğrultusunda momentumun korunumu:

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) = \rho X - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \quad (2)$$

y doğrultusunda momentumun korunumu:

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) = \rho Y - \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} \quad (3)$$

Bu eşitliklerde yer alan \bar{u} ve \bar{v} , sırasıyla x ve y doğrultusundaki zamansal ortalama hız bileşenlerini, X ve Y birim kütleye gelen kütleli kuvvet bileşenlerini, \bar{p} zamansal ortalama basıncı, μ dinamik viskoziteyi, ρ akışkan yoğunluğunu ve τ_{xx} , τ_{xy} ve τ_{yy} türbülans (Reynolds) gerilmelerini ifade etmektedir.

Yukarıda verilen temel eşitlikler, iki boyutlu bir akımda, x ve y doğrultusundaki iki hız bileşeni, bir adet basınç ve üç adet türbülans gerilmesi olmak üzere toplam 6 adet bilinmeyen içermektedir. Elde bulunan 3 adet eşitlik kullanılarak 6 adet bilinmeyen çözümünün mümkün olmamasından dolayı, sayısal modellemede eşitlik sisteminin kapatılarak çözümün mümkün olması için, türbülans gerilmelerinin türbülans modelleri kullanılarak tanımlanması gerekmektedir. Boussinesq'in türbülans viskozitesi yaklaşımına göre, türbülans kayma gerilmeleri doğrusal bünye denklemleriyle, sıkışmayan akımlar için Eşitlik 4, 5 ve 6'da verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\tau_{xx} = -\rho \overline{u'u'} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) - \frac{2}{3} \rho k \quad (4)$$

$$\tau_{xy} = -\rho \overline{u'v'} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) \quad (5)$$

$$\tau_{yy} = -\rho \overline{v'v'} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) - \frac{2}{3} \rho k \quad (6)$$

Burada, u' ve v' sırasıyla yatay ve düşey doğrultulardaki türbülans hız sapınlarını, μ_t türbülans viskozitesini ve k ($= \overline{u'u'}/2$) türbülans kinetik enerjisini ifade etmektedir.

Yukarıdaki 4, 5 ve 6 eşitliklerinde bulunan μ_t 'nin hesaplanmasında, RSM türbülans modeli kullanılmıştır. RSM türbülans modelinde, Reynolds gerilme tansörünün tüm bileşenleri ve türbülans enerji kayıp oranı için ayrı ayrı taşınım denklemleri çözülmekte ve bu elde edilen bileşenler momentum eşitliklerinde doğrudan kullanılarak çözüm mümkün hala gelmektedir. RSM türbülans modeli akım çizgilerinde eğriselliğin bulunduğu, ikincil akımların mevcut olduğu ve akışkan parçacıklarının şekil değiştirme hızındaki aniden değişim gösterdiği akımlarda diğer türbülans modellerine kıyasla daha üstündür (Launder ve Spalding, 1972). Ayrıca, Reynolds gerilme tansörünü doğrudan çözmesi nedeniyle ikinci mertebeli türbülans modeli olarak anılmaktadır. RSM türbülans modelinde kullanılan türbülans gerilmeleri için taşınım denklemleri ($R_{ij} = -\tau_{ij} / \rho = \overline{u'u'}$) yazılarak momentum eşitliklerinden aşağıdaki gibi elde edilir (Launder ve Spalding, 1972).

$$\begin{aligned} \frac{dR_{ij}}{dt} = \frac{\partial R_{ij}}{\partial t} + \underbrace{\bar{u}_k \frac{\partial R_{ij}}{\partial x_k}}_{C_{ij}} = - \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\underbrace{\overline{u'u'_j u'_k}}_{D'_{ij}} + \frac{1}{\rho} \left(\overline{p'u'_j \delta_{jk}} + \overline{p'u'_j \delta_{ki}} \right) \right] + \underbrace{v \frac{\partial^2 \overline{u'u'_j}}{\partial x_k \partial x_k}}_{D''_{ij}} \\ - \underbrace{\overline{u'u'_k} \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_k} - \overline{u'_j u'_k} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_k}}_{P_{ij}} + \underbrace{\frac{p'}{\rho} \left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u'_j}{\partial x_i} \right)}_{\Pi_{ij}} - \underbrace{2\nu \frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \frac{\partial u'_j}{\partial x_k}}_{\varepsilon_{ij}} \end{aligned} \quad (7)$$

Eşitlik (7)'de bulunan terimler, R_{ij} 'nin: C_{ij} konveksiyon ile taşınımını, D'_{ij} türbülans difüzyonu ile taşınımını, D''_{ij} viskoz difüzyon ile taşınımını, P_{ij} zamansal üretim oranını, Π_{ij} türbülans basınç-şekil değiştirme hızı etkileşimi ile taşınımını ve ε_{ij} ise zamansal kayıp oranını temsil etmektedir.

Ayrıca, RSM türbülans modelinin dolusavaklar ve bu çalışmaya konu olan eğri yörüngeli akımlarda, kısmi gömülü silindir üzerinden geçen ve daha karmaşık akım türlerinin bulunduğu akım problemlerinin sayısal modellemesinde başarılı olduğu birçok çalışma tarafından belirtilmiştir (Amano ve Goel, 1984; Yakinthos vd., 2008; Akoz vd., 2014). Literatürde bulunan bu çalışmalar doğrultusunda bu çalışmanın sayısal modellemesinde RSM türbülans modeli kullanılmıştır.

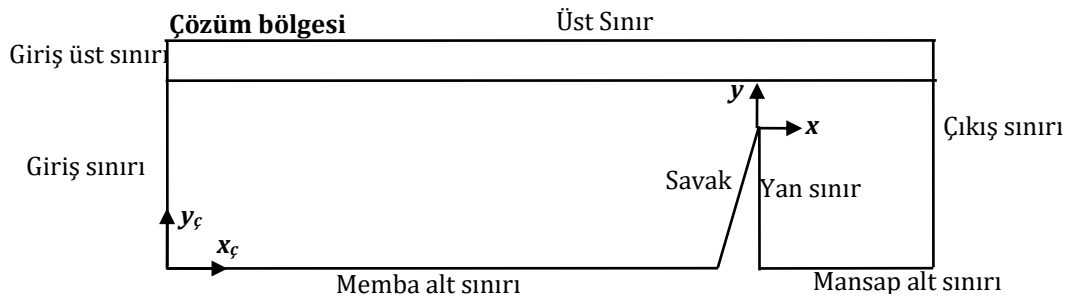
3.2. Akışkan Hacimleri Yöntemi (Volume of Fluid Method- VOF)

Akışkan hacimleri yöntemi serbest yüzeyli akımlarda, su hava ara kesitinin belirlenmesinde oldukça sık kullanılmaktadır (Simsek vd., 2016; Soydan vd., 2017; Gümüş vd., 2018). Farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmada su hava arakesitinin belirlenmesinde oldukça başarılı olduğu belirlenmiştir. Bu yöntemde, sayısal modellemede kullanılan hesaplama ağında, su ile havanın ara kesitindeki ağ elemanlarının hacimsel doluluk oranını esas almaktadır. Sayısal hesaplama ağına belirli bir zaman aralığında giren sıvının bu ağ elemanının hacmini doldurma oranını belirlemekte ve belirlenen zaman adımlarında akım profilinin hesaplanmasını gerçekleştirmektedir. Hacimsel doluluk oranını temsilen bir F fonksiyonu tanımlanmakta ve F=1 için ağ elemanı

tamamen su ile tam dolu, $F=0$ için tamamen boş yani su bulunmamakta (hava ile dolu) ve $0 < F < 1$ için kısmen suyla ve havayla dolu olmaktadır (Hirt ve Nichols, 1981). Bu yöntemle su hava arakesitinin belirlenmesi için "Geo-Reconstruct" yaklaşımı kullanılmıştır (ANSYS, 2012).

3.3. Çözüm Bölgesi, Başlangıç ve Sınır Şartları (Solution Domain, Initial and Boundary Conditions)

Sayısal modellemede kullanılan çözüm bölgesi ve sınırların isimleri Şekil 2'de verilmiştir. Sayısal çözüm bölgesinin alt sınırı $x_c - y_c$ koordinat takımının orijini olarak tanımlanmıştır. Üstten akışlı kapak, giriş sınırından 1 m ileriye yerleştirilmiş ve deneysel çalışmada belirtildiği gibi tüm açı durumları için aynı olmak üzere savak yüksekliği $p = 0.61$ m, savak yükü $h_1 = 0.30$ m olarak alınmıştır. Deneysel çalışmada x ekseninde savaktan sonra 0.3 m'lik uzunlukta alt ve üst nap profilleri sunulduğu için sayısal modellemede hesaplama süresini kısaltma tutmak üzere savak mansap bölgesinin uzunluğu 0.5 m olarak alınmıştır. Su hava arakesitinin daha iyi belirlenebilmesi için kesitte su bulunan bölgenin biraz üzerinde ($y=0.09$ m) üst sınır tanımlanmıştır. Sonuçların değerlendirilmesinde ise üstten akışlı kapak kret noktası yeni tanımlanan $x-y$ koordinat takımının orijini olarak alınmıştır. Sayısal modellemelerde kullanılan sınır şartları Tablo 1'de sunulmuştur. Katı sınır olan memba alt ve savak sınırları kaymayan duvar, yan, mansap alt, çıkış, üst ve giriş üst sınırında akımın hava ile temas ettiğini ifade etmek üzere $p=0$ pa şartı kullanılmıştır. Giriş sınırında, deneysel verilerden elde edilen yatay hız bileşeni $u=0.355$ m/s, dikey hız bileşeni $v=0$ m/s olarak tanımlanmıştır. Ayrıca giriş sınırında başlangıç şartı olarak, akışkan hacimleri yöntemi için hacimsel doluluk oranı olan $F=1$ olarak tanımlanarak suyun giriş kesitinin bu sınır olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, yine bu sınırdaki başlangıç şartı olarak hidrolik çap 0.19 m ve türbülans şiddeti ise %5 olarak verilmiştir. Çözüm bölgesinin tamamı başlangıçta tamamen boş kabul edilmiş olup yani $F=0$ olarak tanımlanmıştır. Sayısal çözümler zaman bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Zamana bağlı çözümde, iterasyon zaman adımı büyüklüğü Courant sayısı ($C_n = \Delta t / (\Delta x_{ağ} / v_{siv1})$); Δt zaman adımı, $\Delta x_{ağ}$ x doğrultusundaki ağ boyutu, v_{siv1} akım hızı) $C_n \leq 2$ olacak şekilde sayısal modellemede kullanılan paket program tarafından otomatik olarak ayarlanmıştır. Her bir iterasyon adımı arasında en fazla 10 iterasyon yapılmıştır.



Şekil 2. Çözüm bölgesi ve sınırlar (Solution domain and boundaries)

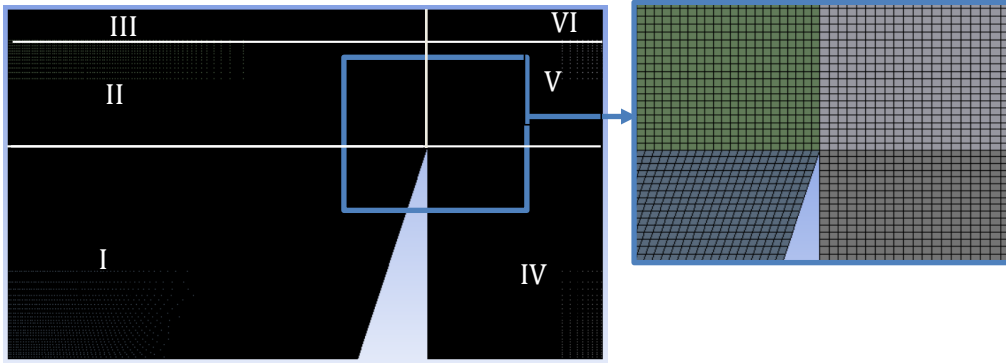
Tablo 1. Sınır şartları (Boundary conditions)

Sınır	Tipi	Şart
Giriş	Inflow	$u=0.355$ m/s, $v=0$ m/s
Giriş üst	Pressure outlet	$p=0$ pa
Memba alt	No slip	$u_i=0$ m/s
Savak	No slip	$u_i=0$ m/s
Yan	Pressure outlet	$p=0$ pa
Mansap alt	Pressure outlet	$p=0$ pa
Çıkış	Outlet	$p=0$ pa
Üst	Pressure outlet	$p=0$ pa

3.4. Sayısal Hesaplama Ağı Tasarımı (Design of Numerical Computational Grid)

Sayısal hesaplama ağı, sayısal model sonuçları üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Sayısal modellemede kullanılacak hesaplama ağının çok küçük elemanlardan oluşması hesaplama süresinin artmasına yol açarken, aynı zamanda sayısal modellemenin gerçekleşmesi için yüksek donanımlı bilgisayar kullanımını gerekli kılmaktadır. Hesaplama ağının çok büyük elemanlardan oluşması ise hesaplama hatalarının büyümesine ve sayısal model sonuçlarının hassasiyetinin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle en optimum hesaplama ağı tasarımının yapılması sayısal modelin başarısını doğrudan belirlemektedir. Bu çalışmada optimum hesaplama ağının tasarımında birçok çalışmada hesaplama ağı tasarımının uygunluğunu belirlemek amacıyla kullanılan ağ yakınsama indeksi (Grid Convergence Index-GCI) yöntemi kullanılmıştır (Roache, 1998; Oner vd., 2012; Gümüş vd., 2019; Gümüş vd., 2019; Soydan vd., 2020). Bu yöntem, en az üç farklı yoğunluğa sahip hesaplama ağı tasarımı

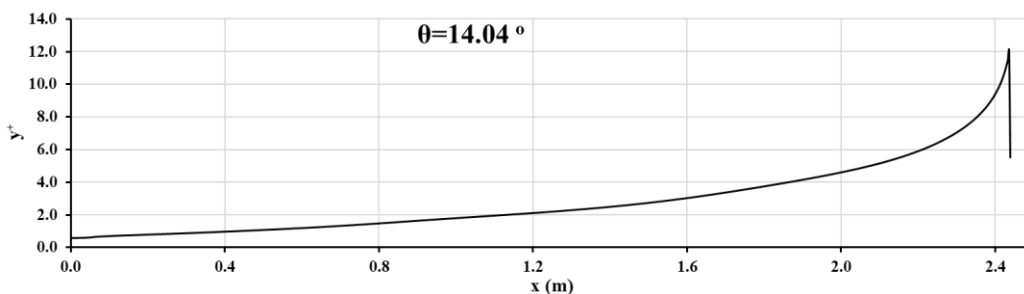
zorunlu kılmaktadır. Gerekli analizler sonucunda elde edilen GCI_{ince} değerinin %2'den küçük olması durumunda, ağ yapısının sayısal model sonuçları üzerinde etkisinin olmadığı kabul edilmektedir. Ağ yakınsama indeksi analizi sonucunda elde edilen bulgulardan sayısal model sonuçlarının ağ yapısından bağımsızlaştığı görülmüştür. Bu çalışmaya konu olan tabana farklı açılarda yerleştirilmiş üstten akışlı kapak akımının sayısal modellemesinde kullanılan hesaplama ağı tasarımı Şekil 3'te verilmiştir. Çözüm bölgesi şekilde görüldüğü gibi 6 alt bölgeye ayrılmıştır. Hesaplama ağına 375,000 adet dikdörtgen eleman bulunmaktadır. Deneysel bulgular dikkate alındığında, sayısal modellemede kullanılan hesaplama ağının kapak kret ve mansap bölgesi daha küçük elemanlardan oluşturulmuştur. Böylelikle, deneysel bulgularla karşılaştıracak sonuçların daha hassas elde edilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, savak memba bölgesinde mansap bölgesine kıyasla daha büyük elemanlar oluşturularak hesaplama süresinin kısalması amaçlanmıştır. Kapağın hemen üstünde ve kapak sonrası düşü bölgesinde ağ eleman boyutlarındaki değişimler (Δx , Δy) Tablo 2'de verilmiştir. Tabloda verilen değerler mm cinsindedir. Tablodaki değerler incelendiğinde, her kapak açısı için y doğrultusundaki kapak uzunluğunun aynı olmasından dolayı ağ elemanının y doğrultusundaki Δy aynı kalmıştır. Bunun yanında, kapak açısının azalmasıyla birlikte kapağın x doğrultusundaki uzunluğu artmış ve buna bağlı olarak ağ elemanın x doğrultusundaki boyutu kapak açısının azalmasıyla artmıştır. Ayrıca, tablodaki değerlerden, düşü öncesinde elde edilen Δx değerlerinin, düşü sonrası elde edilen değerlerden daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. Kapak uzunluğunun en fazla olduğu 14.04° durumunda elde edilen y^+ değerlerinin değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Kapak ve kanal tabanının kesişim noktasından mansap bölgesine doğru ilerledikçe y^+ değerleri artmaktadır. Şekilden de görüleceği üzere maksimum y^+ değerinin kapak düşü noktasında yaklaşık olarak 12 olduğu görülmektedir. Bu değer Kırkgöz ve Ardıçlıoğlu (1997) tarafından önerilen ilk ağ elemanının viskoz alt tabaka içerisinde kaldığının belirlenmesinde kullanılan referans değer olan 10 değerine oldukça yakın olduğu belirlenmiş ve çözüm alanı içerisinde sadece bu noktada bu değeri aşmasından dolayı hesaplamalarda bu ağ yapısı kullanılmıştır.



Şekil 3. $\theta=71.57^\circ$ için sayısal hesaplama ağı (Numerical computational grid for $\theta=71.57^\circ$)

Tablo 2. Hesaplama ağı boyutlarındaki değişim miktarları (mm) (Amounts of change in computational grid sizes)

Açı	$\theta=14.04^\circ$		$\theta=26.57^\circ$		$\theta=45^\circ$		$\theta=56.31^\circ$		$\theta=71.57^\circ$		$\theta=90^\circ$	
Bölge /Değişim	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy
Düşü öncesi	2.77	0.84	1.76	0.84	1.38	0.84	1.13	0.84	1.08	0.84	1.06	0.84
Düşü sonrası	1.16	0.84	1.14	0.84	1.12	0.84	1.09	0.84	0.98	0.84	0.79	0.84



Şekil 4. Kapak üstünde oluşan y^+ değerinin değişimi ($\theta=14.04^\circ$) (The change of the y^+ value on the gate)

4. Bulgular ve Tartışma (Results and Discussion)

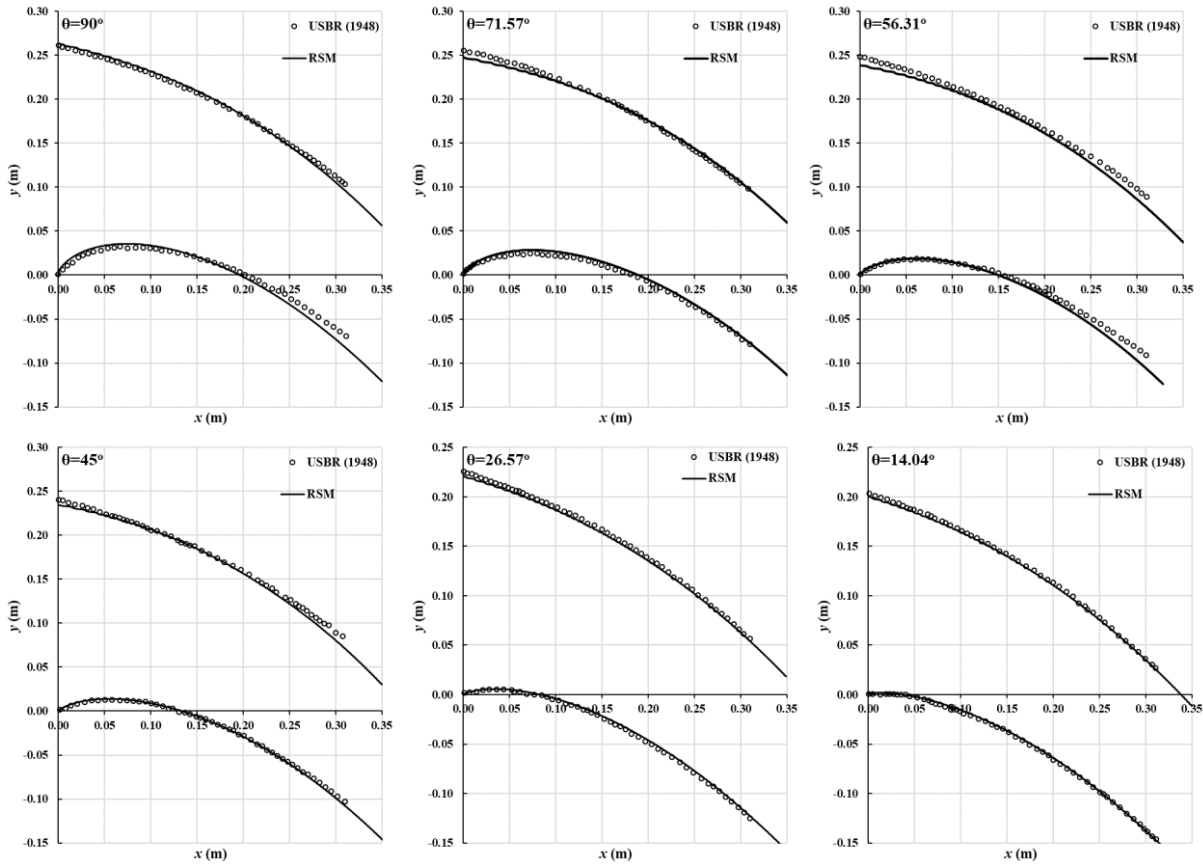
Amerika Islah Kurumu (the US Bureau of Reclamation- USBR) tarafından 1948 yılında laboratuvar ortamında elde edilen bulguların kapak sonrası düşü bölgesinde sunulmasından dolayı sayısal modellemelerde savak ve kanal tabanının kesişim noktası bulguların değerlendirilmesinde başlangıç noktası olarak değerlendirilmiştir.

Böylelikle, sayısal model sonuçların daha anlaşılır olması da sağlanmıştır. Sayısal olarak elde edilen sonuçlar bu eksen takımı kullanılarak sunulmuştur.

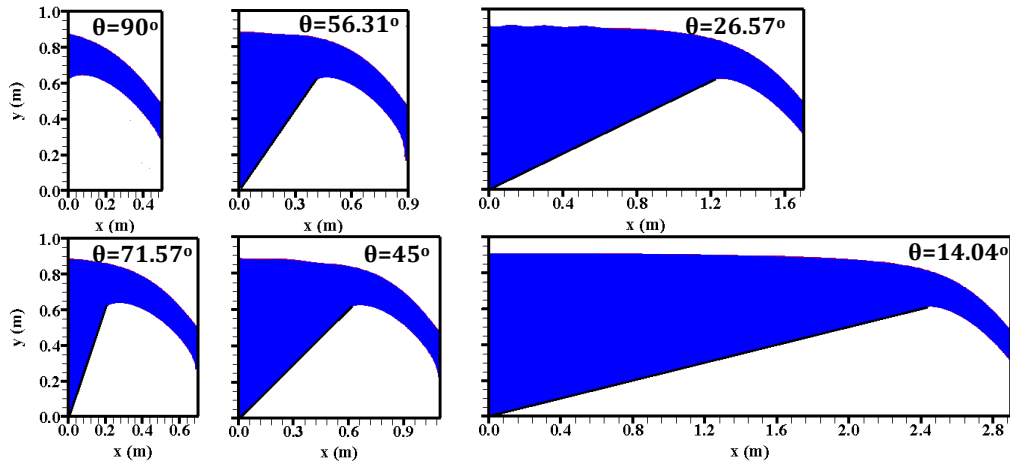
4.1 Deneysel ve Sayısal Su Yüzü Profilleri (Experimental and Numerical Water Surface Profiles)

Şekil 5'te, tabana farklı açılarda yerleştirilmiş üstten akışlı kapak üzerinden geçen akımın deneysel ve sayısal olarak elde edilen alt ve üst nap profillerinin karşılaştırılması verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Üstten akışlı kapak açısının azalmasıyla, alt nap profilinin x eksenini kestiği mesafenin ve üst nap profilinin yüksekliğinin giderek azaldığı açıkça söylenebilir. Pivot savak eğiminin $\theta=45^\circ$, 26.57° ve 14.04° olduğu durumda elde edilen deneysel ve sayısal alt ve üst nap profilleri arasındaki uyumun, $\theta=90^\circ$, 71.57° ve 56.31° durumlarında elde edilen deneysel ve sayısal su yüzü profilleri arasındaki uyumda daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçtan, RSM modelinin akımda eğriliğin artmasıyla su yüzü profilini belirlemedeki başarısının azaldığı ifade edilebilir.

RSM türbülans modeli kullanılarak sayısal olarak elde edilen su hava arakesitlerinin desenleri Şekil 6'da verilmiştir. Şekilde mavi renkli olarak gösterilen kısım suyu, kırmızı renkli gösterilen kısım ise havayı temsil etmektedir. Verilen şekiller incelendiğinde, akışkan hacimler yönteminin su hava arakesitinin belirlenmesinde oldukça başarılı olduğu görülmektedir. Sayısal modellemede kullanılan hesaplama ağının tasarımının su hava arakesitinin belirlenmesinde oldukça etkili olduğu ve küçük ağ elemanlarından oluşan hesaplama ağlarının su hava arakesitini daha büyük elemanlardan oluşan hesaplama ağlarına kıyasla daha hassas belirleme imkânı sunduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. Deneysel ve sayısal su yüzü profilleri (Experimental and numerical water surface profiles)



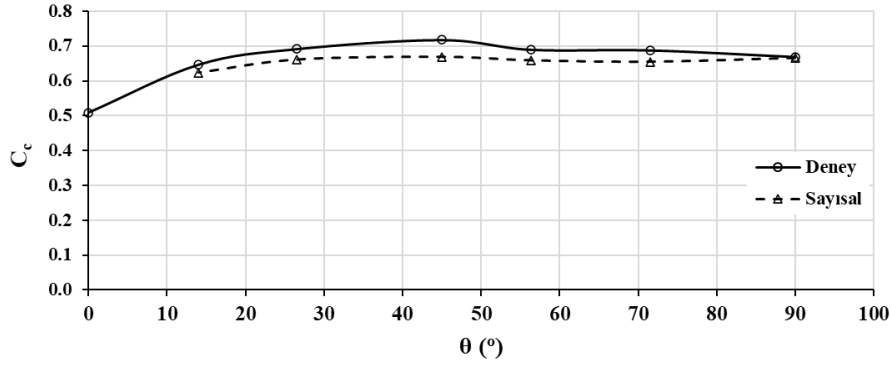
Şekil 6. Farklı kapak açılarında sayısal akım desenleri (Numerical flow patterns at different gate angles)

Kanal tabanına farklı açılarda yerleştirilmiş üstten akışlı kapak akımının deneysel ve sayısal model sonuçlarından elde edilen vena kontratta bölgesine ait özellikler Tablo 3'te verilmiştir. Tablo verilen değerler incelendiğinde, deneysel ve sayısal olarak elde edilen vena kontratta noktasının x ve y eksenı değerlerinin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Deneysel ve sayısal olarak elde edilen en büyük daralma katsayısı değerlerinin, savak açısının 45° olduğu durumda elde edildiği, 45°'den daha büyük ve küçük savak açılarında daralma katsayısı değerinin azaldığı tablodaki değerlerden anlaşılmaktadır. Deneysel ve sayısal olarak elde edilen x ve y eksenleri değerlerinde milimetre düzeyinde çok küçük farklılıkların oluştuğu söylenebilir. Bu sonuçtan, RSM modelinin üstten akışlı kapak akımı üzerinde akımın en dar alana sahip olduğu vena kontratta noktasının yerini sayısal olarak belirlemede başarılı olduğu ifade edilebilir.

Tablo 3. Vena kontratta alanının özellikleri (Properties of the vena contracta area)

Deneysel (USBR, 1948)			
θ (°)	x koordinatı (m)	Akım derinliği (m)	C_c
90.00	0.075	0.204	0.669
71.57	0.070	0.209	0.688
56.31	0.061	0.210	0.690
45.00	0.058	0.219	0.718
26.57	0.030	0.211	0.692
14.04	0.015	0.197	0.647
0.00	0.000	0.155	0.508
Sayısal			
θ (°)	x koordinatı (m)	Akım derinliği (m)	C_c
90.00	0.074	0.206	0.665
71.57	0.074	0.203	0.655
56.31	0.061	0.204	0.659
45.00	0.055	0.207	0.669
26.57	0.034	0.205	0.661
14.04	0.015	0.193	0.624

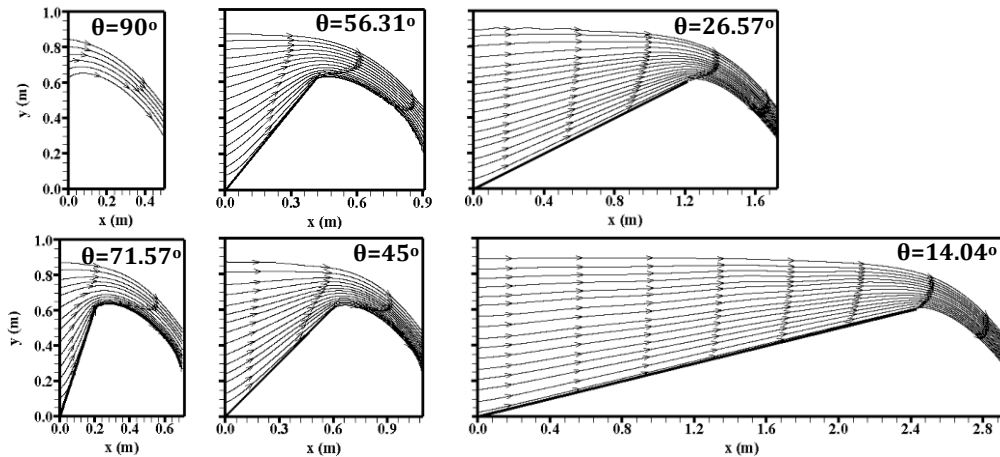
Deneysel ve sayısal olarak elde edilen daralma katsayısının (C_c) farklı üstten akışlı kapak açılına göre değişimleri Şekil 7'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, deneysel ve sayısal olarak elde edilen daralma katsayısının savak açısı ile değişiminin birbiriyle uyumlu olduğu açıkça söylenebilir. Bunun yanında, deneysel olarak elde edilen daralma katsayısının sayısal model sonucunda elde edilen daralma katsayısından daha büyük olduğu görülmektedir. Savak açısı $\theta=90^\circ$, 71.57° , 56.31° , 45° , 26.57° ve 14.04° olduğu durumlarda deneysel ve sayısal olarak elde edilen daralma katsayıları arasındaki fark sırasıyla %1, %5, %5, %7, %4 ve %4 olmuştur. Deneysel ve sayısal olarak elde edilen daralma katsayıları arasındaki maksimum farkın üstten akışlı kapak açısının 45° olduğu durumda %7, minimum farkın ise savak açısının 90° olduğu durumda %1 olduğu belirlenmiştir. Bu değerlerden görüldüğü üzere, deneysel ve sayısal olarak elde edilen daralma katsayıları arasındaki hata payının %10 değerinden küçük olması sayısal model sonuçlarının deneysel bulgularla oldukça uyumlu ve kabul edilebilir hata sınırı içerisinde olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 7. Daralma katsayısının kapak açısına göre değişimi (The change of the contraction coefficient according to the angle of the gate)

4.2. Akım Çizgileri Deseni (Streamlines Pattern)

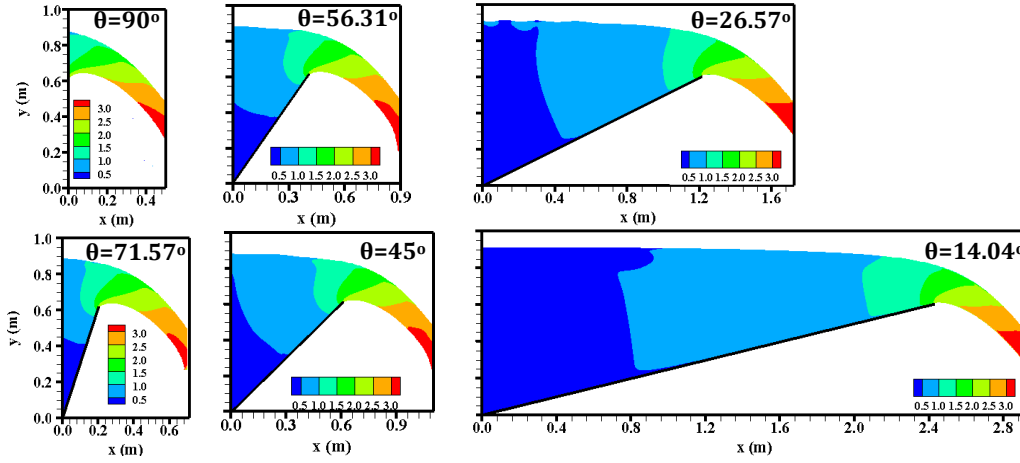
Farklı açılarda yerleştirilmiş üstten akışlı kapak akımının sayısal modellenmesinden elde edilen akım çizgilerinin desenleri Şekil 8'de verilmiştir. Şekillerde üstten akışlı kapak yapısının alt sınırından itibaren akım çizgilerinin deseni değerlendirilmiş ve savak yapısının akım alanına olan etkisinin daha hassas belirlenmesi sağlanmıştır. Farklı açılarda sayısal modelleme sonucunda elde edilen akım çizgileri incelendiğinde, savak açısının azalmasıyla savak memba bölgesinde akım çizgilerindeki eğriselliğin azaldığı görülmektedir. Ayrıca, savak açısının 90°, 71.57°, 56.31° ve 45° olduğu durumda kanal tabanı ile üstten akışlı kapak alt sınırının birleştiği noktada akım çizgilerinin süreklilik göstermediği söylenebilir. Savak memba bölgesinde, akım çizgilerinin daha fazla eğrisellik gösterdiği açı durumlarında savak mansap bölgesinde bu eğriselliğin etkisiyle yatay mesafede daha az ilerleyebildiği belirlenmiştir. Diğer bir ifadeyle, memba bölgesinde eğriselliğin fazla olduğu savak açılarında akım mansap bölgesinde daha dik düşüler yapmak durumunda kalmıştır. Akım çizgilerinin deseninden, dolusavak mansap bölgesinin profilinin tasarlanma imkânı sunulmakta ve mansap bölgesinde yapıya zarar veren kavitasyon oluşumu gibi olumsuz akım koşullarının oluşmasının önlenmesi sağlanabilmektedir.



Şekil 8. Farklı açılarda sayısal olarak elde edilmiş akım çizgilerinin deseni (Pattern of streamlines numerically obtained at different angles)

4.3. Hız Alanı (Velocity Field)

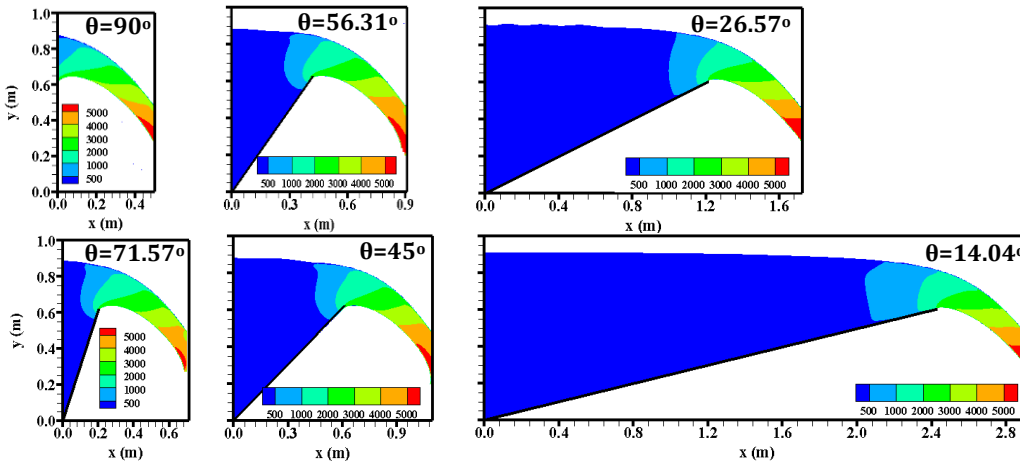
Şekil 9'da, farklı üstten akışlı kapak açılarında sayısal olarak elde edilmiş bileşke hız kontörlerinin desenleri verilmiştir. Hız değerlerinin değişim aralığı aynı tutularak elde edilen hız desenlerinden değişen kapak açılarında akım alanının değerlendirilmesi sağlanmıştır. Verilen şekiller incelendiğinde, savak açısının azalmasıyla, 0.5 m/s hızdan küçük hızların olduğu alanları artmaktadır. Ayrıca, akımın savak kretinden sonra hızlandığı ve en büyük hız değerlerine (3 m/s'den büyük) çözüm bölgesi sağ sınırında ulaşmaktadır. En büyük hız değerinin, düşü sonrası kanal tabanı üzerinde 3 m/s değerinden daha büyük olacağı verilen şekillerden anlaşılmaktadır. Bunun yanında, farklı akım değerlerinin olduğu kontörlerin dağılımlarından bu düşü bölgesinde akımın eğri yörüngeye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu eğrisellik savak açısının azalmasıyla birlikte artmaktadır. Akım hızının savak yapısının kret bölgesinde 1.5 m/s ile 2 m/s arasında değiştiği açıkça söylenebilir. Akımın yer çekiminin etkisiyle aşağı doğru hızlandığı ifade edilebilir. Savak sonrası düşü bölgesinde meydana gelen bu hız değerindeki artış, dolusavak topuk bölgesinde kavitasyon oluşma ihtimali olan bölgenin tespitine olanak sağlamaktadır.



Şekil 9. Farklı savak açılarında sayısal olarak elde edilmiş hız dağılımları (Numerically obtained velocity distributions at different weir angles)

4.4. Dinamik Basınç Dağılımı (Dynamic Pressure Distribution)

Kanal tabanına farklı açılarda yerleştirilmiş üstten akışlı kapakla etkileşim halinde olan akımın sayısal modellemesinden elde edilen dinamik basınç dağılımları Şekil 10'da verilmiştir. Elde edilen şekiller incelendiğinde, üstten akışlı kapak yapısı üzerinde, basınç değerinin 500 Pa civarında olduğu ve bu değer olduğu bölgenin büyüklüğünün savak açısının azalmasıyla arttığı görülmektedir. Kapak kreti mansap bölgesinde akım hızının artmasından dolayı, dinamik basınç değeri de düşü bölgesinin bitiş noktasında en büyük değerine sahip olmuştur. Çözüm bölgesinin ele alınan kısmında, maksimum basınç 5.000 Pa civarında oluşurken, minimum basınç ise 500 Pa civarında olmuştur. Elde edilen basınç dağılımları genel olarak değerlendirildiğinde Şekil 9'da verilen hız dağılımına benzer olduğu görülmektedir. Hız profillerinde görülen akımda eğriselliğin oluşumu basınç dağılımlarından da benzer olarak anlaşılmaktadır. Ayrıca, düşü sonrası kanal tabanı üzerinde oluşacak dinamik basınç değerinin 5000 Pa değerinden daha büyük olacağı aşikardır. Kanal tabanında yapılacak düzenlemelerde bu basınç değerinin dikkate alınması taban malzemesi ve koruyucuların hesaplarını daha gerçekçi ve güvenli kılacaktır.



Şekil 10. Farklı savak açılarında sayısal olarak elde edilmiş dinamik basınç dağılımları (Dynamic pressure distributions numerically obtained at different weir angles)

Mahdavi ve Shahkarami (2020) tarafından farklı deneysel çalışmaya ait bulgular, hidrostatik düzeltmeli düzleştirilmiş parçacık dinamiği yöntemini (hydrostatic-corrected smoothed particle hydrodynamics) kullanılarak sayısal olarak modellenmiştir. Araştırmacılar deneysel olarak elde edilen bulguları sayısal model bulgularıyla karşılaştırarak sayısal model başarısı araştırmışlardır. Araştırmacılar tarafından debi katsayısının belirlenmesi için basit bir formül önerilmiştir. Bu çalışmada önerilen formül yardımıyla Mahdavi ve Shahkarami (2020) tarafından ele alınmayan 71.57° ve 56.31° savak açıları için debi katsayıları sırasıyla 0.681 ve 0.725 olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen akım hız değerlerinin, Mahdavi ve Shahkarami (2020) tarafından sunulan hız ve akım çizgileri desenlerinin benzer olduğu görülmektedir. Bu çalışmada sayısal modellemede su hava arakesitinin belirlenmesinde kullanılan akışkan hacimler yönteminin ve düşü bölgesinde daha küçük ağ elemanlarından oluşturulmasının sayısal model başarısını arttırdığı değerlendirilmiştir. Bunun yanında, yapılan bu çalışmada dinamik basınç dağılımlarının ve daralma katsayılarının değerlendirilmesinin literatüre katkı

sunacağı düşünülmektedir. Mahdavi ve Shahkarami (2020) tarafından yapılan çalışmayla, ele alınan bu çalışmanın farklı yöntemler kullanılarak benzer sonuçlar elde edildiği görülmekte ve sayısal modelleme tekniklerinin bu tür akım problemlerin çözümünde kullanılabileceği söylenebilir.

5. Sonuçlar (Conclusions)

Pivot savaklar, savak yüksekliğinin değişkenlik gösterebilme özelliğinden dolayı, istenilen akım durumunda ve akım seviyesinde akımı kontrol etmeyi sağlama avantajına sahip olmasından dolayı diğer savak tiplerine kıyasla daha sık kullanılmaktadır. Savak eğiminin değişkenlik göstermesi, savağın su tutma kapasitesini arttırmasının yanında akım iletim özelliğini de büyük derecede olumlu yönde etkilemektedir. Deneysel olarak oldukça zahmetli olan model çalışmalarının son yıllarda gelişen teknolojiyle paralel yerinin sayısal model çalışmalarına bıraktığı görülmektedir. Bu çalışmada farklı açılara sahip pivot savak üzerinden geçen akımın sayısal modellemesi yapılmıştır. Sayısal modellemede pivot savak akımını idare eden temel denklemler sonlu hacimler yöntemi yardımıyla, Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) denklemlerine dayanan Reynolds Gerilme Modeli kullanılarak çözülmüştür. Sayısal modellemelerde, akım profilinin belirlenmesi için ise akışkan hacimleri yöntemi kullanılmıştır. Sayısal olarak elde edilen daralma katsayısı, vena kontratta nokta özellikleri, su alt ve üst nap profilleri deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, deneysel ve sayısal profillerin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Sayısal olarak elde edilen daralma katsayıları değerleri deneysel değerlere oldukça yakındır. Sayısal modelleme sonucunda elde edilen akım çizgilerinin deseninden kapak açısının artmasıyla, kapağın kanal tabanı ile birleşim noktasında ayrılmaların bulunduğu belirlenmiştir. Dinamik basınç ve bileşke hız dağılımının benzer olduğu ve savak mansap bölgesinin en uç noktasında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. Dolusavak mansap profilinin savak ön eğiminin değişimine bağlı değişimi belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, RSM türbülans modelinin üstten akışlı kapak üzerinden geçen eğrisellik gösteren akımın sayısal modellemesinde başarılı olduğu belirlenmiştir. Sayısal model bulguları kullanılarak akımların yapılarla etkileşimde bulunduğu hidrolik problemlerinin çözümü yapılabilmekte, yapıların tasarım aşamasında alınacak güvenlik tedbirleri hidrolik yapıların inşasından önce alınabilecektir. Ayrıca, sayısal modellemeler aracılığıyla tasarım ve performans analizi için gerekli parametrelerin fiziksel modellere kıyasla daha az masrafla analiz edilebileceği görülmüştür.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- Akoz, M. S., Gumus, V., Kirkgoz, M. S., 2014. Numerical Simulation of Flow over a Semi-cylinder Weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(6), 04014016.
- Amano, R. S., Goel, P., 1984. A Numerical Study of a Separating and Reattaching Flow by Using Reynolds-Stress Turbulence Closure. *Numerical Heat Transfer*, 7(3), 343-357.
- ANSYS, 2012. FLUENT Theory Guide. USA: ANSYS Inc.
- Aydin, M. C., 2012. CFD Simulation of Free-Surface Flow over Triangular Labyrinth Side Weir. *Advances in Engineering Software*, 45(1), 159-166.
- Gonzalez, C. A., Chanson, H., 2007. Experimental Measurements of Velocity and Pressure Distributions on a Large Broad-Crested Weir. *Flow Measurement and Instrumentation*, 18(3-4), 107-113.
- Gümüş, V., Şimşek, O., Soydan, N. G., Aköz, M. S., Kırkgöz, M. S., 2018. Akışkan Hacimleri Yöntemiyle Yapılan Sayısal Modellemelerde Yan Duvar Etkisinin İncelenmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3), 15-21.
- Gümüş, V., Parmaksız, M., Şimşek, O., Avşaroğlu, Y., 2019. Farklı Akım Koşullarına Sahip Serbest Hidrolik Sıçramanın Deneysel ve Sayısal Modellemesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 447-466.
- Gümüş, V., Şimşek, O., Bal, Ş., 2019. Değişken Enkesitli Açık Kanal Akımının Deneysel ve Sayısal Modellemesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(4), 938-956.
- Harrison, A. J. M., Montes, S., Manning, A., Halliwell, A., Williams, J., Markland, E., Allen, J., Hill, J. A., Bunt, E. A., Abbott, M. B., Smith, C. D., Herschy, R. W., Engel, F. V. A., Hall, G. W., 1969. The Streamlined Broad-Crested Weir. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 42(4), 575-599.
- Hirt, C. W., Nichols, B. D., 1981. Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries. *Journal of Computational Physics*, 39(1), 201-225.
- İlcentapar, M., Öner, A., 2017. Geniş Başlıklı Savak Etrafındaki Akımın İncelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6 (2), 615-626.
- Kırkgöz MS, Ardiçlioğlu M. 1997. Velocity Profiles of Developing and Developed Open Channel Flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(12),1099-105.
- Kirkgoz, M. S., Akoz, M. S., Oner, A. A., 2008. Experimental and Theoretical Analyses of Two-Dimensional Flows Upstream of Broad-Crested Weirs. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35(9), 975-986.
- Kirkgoz, M. S., Akoz, M. S., Oner, A. A., 2009. Numerical Modeling of Flow over a Chute Spillway. *Journal of Hydraulic Research*, 47(6), 790-797.

- Lauder, B. E., Spalding, D. B., 1972. Lectures in Mathematical Models of Turbulence, New York. Academic Press.
- Machiels, O., Erpicum, S., Dewals, B. J., Archambeau, P., Pirotton, M., 2011. Experimental Observation of Flow Characteristics over a Piano Key Weir. *Journal of Hydraulic Research*, 49(3), 359-366.
- Mahdavi, A., Shahkarami, N., 2020. SPH Analysis of Free Surface Flow over Pivot Weirs. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 1-12.
- Muslu, Y., 2001. Numerical Analysis for Lateral Weir Flow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 127(4), 246-253.
- Oner, A. A., Akoz M. S., Kirkgoz M. S., Gumus V., 2012. Experimental Validation of Volume of Fluid Method for a Sluice Gate Flow. *Advances in Mechanical Engineering*, 4, 461708.
- Roache, P. J., 1998. Verification of Codes and Calculations, *AIAA Journal*, 36(5), 696-702.
- Simsek, O., Akoz, M. S., Soydan, N. G., 2016. Numerical Validation of Open Channel Flow over a Curvilinear Broad-Crested Weir. *Progress in Computational Fluid Dynamics, an International Journal*, 16(6), 364-378.
- Soydan Oksal, N. G., Akoz, M. S., Simsek, O., 2020. Numerical Modelling of Trapezoidal Weir Flow with RANS, LES and DES Models. *Sadhana*, 45(1), 91.
- Soydan, N. G., Aköz, M. S., Şimşek, O., Gümüş, V., 2012. Trapez Kesitli Geniş Başlıklı Savak Akımının k-e Tabanlı Türbülans Modelleri ile Sayısal Modellenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2), 47-58.
- Soydan, N. G., Şimşek, O., Aköz, M. S., 2017. Prediction and Validation of Turbulent Flow around a Cylindrical Weir. *European Water*, 57, 85-92.
- USBR (1948). Studies of Crests for Overfall Dams. Bulletin 3. Boulder Canyon Project, Final Report. US Bureau of Reclamation, US Dept. of Interior, Denver, CO. 186 pp.
- Wahlin, B. T., Replogle, J. A., 1994. Flow Measurement Using an Overshot Gate. *UMA Engineering*, 1-25.
- Yakinthos, K., Vlahostergios, Z., Goulas, A., 2008. Modeling the Flow in a 90 Rectangular Duct Using one Reynolds-Stress and Two Eddy-Viscosity Models. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 29(1), 35-47.



GEOPOLİMER HARÇLARDA ZEOLİT KATKISININ ETKİSİ

Mehmet Cemal ACAR¹, Ahmet ŞENER², Ahmet ÖZBAYRAK³, Ali İhsan ÇELİK^{2*}

¹Kayseri Üniversitesi, Kayseri Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Kayseri, Türkiye

²Kayseri Üniversitesi, Tomarza Mustafa Akıncıoğlu Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Kayseri, Türkiye

³Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Geopolimer Harç, Zeolit Katkısı, Alüminosilikat, Alkali Aktivatör, Eğilme Dayanımı, Basınç Dayanımı.</i>	<p>Çimento üretiminde bacalardan atmosfere salınan CO₂ gazı, küresel ısınmaya neden olmakta ve çevreyi tehdit etmektedir. Bu nedenle bilim insanları, karbon emisyonunu en aza indirmek ve inşaat endüstrisindeki Portland çimentosuna olan ihtiyacı azaltmak için uçucu kül bazlı polimerler üzerinde çalışmaktadırlar. Günümüzde, çimentolu harçların yerine, geopolimer harçların kısmi alternatif bir malzeme olarak kullanımı araştırılmaktadır. Bu çalışmada, 40x40x160 mm'lik prizma kalıplara dökülen alkali ve ısı (90°C) ile aktifleştirilmiş uçucu kül bazlı geopolimer harçlarda zeolit katkısının mekanik özelliklere olan etkisi araştırılmıştır. Öncelikle "İsken Su gözü Enerji Santrali"nden alınan F tipi uçucu kül, aktivatör olarak NaOH (%98 saflıkta) ve Na₂SiO₃ (%50 saflıkta) ile Rilem-Cembureau Standart kumu çeşitli oranlarda karıştırılarak dayanımı en yüksek olan zeolitsiz geopolimer karışım oranları tespit edilmiştir. Ardından en yüksek dayanıma sahip geopolimer harç içindeki uçucu külün ağırlıkça çeşitli oranlarında zeolit katkısı yapılmıştır. Farklı miktarlardaki zeolit katkısı ile eğilme ve basınç dayanımlarını arttırabilmek için karışımdaki alkali aktivatör ve alümina silikat miktarları da değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Araştırma sonunda tüm numunelerin bir günlük eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiş ve geopolimer harç içine katkı olarak zeolit ilave edilmesi dayanımı arttırıcı mukavemet parametrelerini vermese de zeolitlerin, ağır metal iyonlarını yok etme özelliklerinden dolayı çimentoya göre daha düşük çevresel zararlı etki barındıran yeşil yapı harçları olarak kullanılabilceği bulunmuştur.</p>

THE EFFECT OF ZEOLITE ADDITIVE ON GEOPOLYMER MORTARS

Keywords	Abstract
<i>Geopolymer Mortar, Zeolite Contribution, Aluminosilicate, Alkaline Activator, Flexural Strength, Compressive Strength.</i>	<p>The CO₂ gas released from the chimneys to the atmosphere during cement production causes global warming and threatens the environment. Therefore, scientists work on fly ash-based polymers to minimize carbon emissions and reduce the need for Portland cement in the construction industry. Today, the use of geopolymer mortars as a partial alternative material to replace cementitious mortars is being investigated. In this study, the effect of zeolite admixture on the mechanical properties of fly ash based geopolymer mortars which are poured into 40x40x160 mm prism molds activated with alkali and heat (90°C) was investigated. Firstly, F type fly ash from "Isken Sugözü Power Plant", NaOH (98% purity) and Na₂SiO₃ (50% purity) and Rilem-Cembureau Standard Sand were mixed in various proportions and zeolite-free geopolymer mixture ratios with the highest strength were determined. Then, the zeolite additive was applied in various proportions of the fly ash in the geopolymer mortar with the highest strength. In order to increase flexural and compressive strengths with different amounts of zeolite additives, experiments were made by changing the amount of alkali activator and alumina silicate in the mixture. At the end of the research, one-day bending and compressive strengths of all samples were determined, and although adding zeolite as an additive into geopolymer mortar does not give strength-increasing strength parameters, it was found that zeolites can be used as green building mortars with lower</p>

* İlgili yazar / Corresponding author: acelik@kayseri.edu.tr, +90 533 221 7635

environmental harmful effects than cement due to their heavy metal ions removal properties.

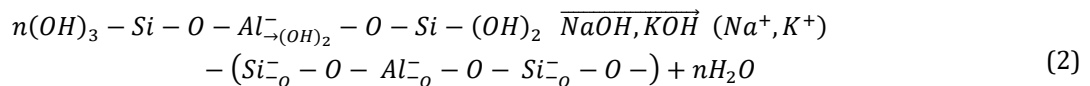
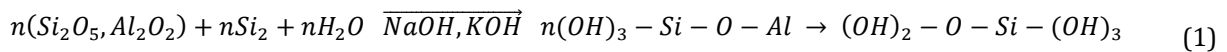
Alıntı / Cite

Acar, M. C., Şener, A., Özbayrak, A., Çelik A.İ., (2020). Geopolimer Harçlarda Zeolit Katkısının Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 820-832.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
M. C. Acar, 0000-0002_3241-5353	Başvuru Tarihi / Submission Date	13.07.2020
A. Şener, 0000-0001-7562-7631	Revizyon Tarihi / Revision Date	12.08.2020
A. Özbayrak, 0000-0002-8091-4990	Kabul Tarihi / Accepted Date	24.08.2020
A. İ. Çelik, 0000-0001-7233-7647	Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Giriş (Introduction)

Beton, dünya çapında inşaat sektöründe kullanılan ve önem arz eden bir malzemedir (Shaikh, 2016). Düşük fiyatı, hammaddelerinin kolay temini, dayanımı, istenilen şeklin verilebilmesi gibi nedenlerle günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemesidir (Shaikh, 2016; Basha ve Reddy 2016). Aralıksız artan çimento üretiminin sebep olduğu CO₂'in atmosfere salınması; çevre üzerinde olumsuz bir etkisi olan küresel ısınma sorununu daha da ağırlaştırmaktadır. Kireçtaşı kalsinasyonu ve fosil yakıtın yanması nedeniyle çimento üretimi sırasında açığa çıkan karbondioksit miktarı üretilen her ton çimento için bir ton civarındadır. Dünya çapında beton tüketiminin yılda yaklaşık 11,5 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir ve 2050 yılında yılda 18 milyar ton beton talebi beklenmektedir. Portland çimentosunun üretimi, sera etkisine önemli bir katkı sağlayan karbondioksit (CO₂) salgılar. Bununla birlikte, geleneksel beton asitlere ve tuzlara karşı düşük kimyasal direnç, özellikle 500°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda düşük termal ve yangın direnci gibi bazı dezavantajlara sahiptir (Nikolov ve vd., 2017). Bu nedenle, Portland çimentosuna alternatif bir malzemenin bulunması an meselesidir (Palomo ve vd. 1999). Portland çimentosu üretiminin ve atık malzemenin artmasının neden olduğu çevre kirliliğini (karbondioksit) azaltmanın yollarından biri de alternatif bağlayıcılara yönelmektir. Bu nedenle, daha sürdürülebilir bir yaklaşım ve geleneksel betonun yerini almak için kullanılan mevcut katkıların dikkatli bir şekilde gözden geçirilmesi son derece zorunlu hale gelmiştir. Bu amaçla, konvansiyonel betona kıyasla benzer veya daha iyi dayanıklılık ve yüksek mukavemet gösteren geopolimer beton üzerinde birçok çalışma çeşitli araştırmacılar tarafından gerçekleştirilmiştir. Geopolimer beton aslında uçucu kül gibi endüstriyel katı atıkların yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesi ile üretilmektedir. Termik santrallerden elde edilen ve kömürün yan ürünü olan uçucu kül, dünya çapında bolca miktarda bulunmaktadır. Ayriyeten, uçucu kül beton üretiminde katkı malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Geopolimer beton, sıradan betona göre birçok avantajı olan nispeten yeni, yenilikçi ve sürdürülebilir bir mühendislik malzemesidir. Örnek olarak, daha yüksek erken dayanım kazanması, daha düşük doğal kaynak tüketimi, düşük maliyet ve çeşitli yapısal şekiller oluşturma yeteneği olarak sıralanabilir. Geopolimer beton, beton bina onarımlarında, karayolu ulaşım altyapısının bakımında ve olumsuz çevresel etkilerin azaltılması için kullanılacak önemli bir malzemedir. Geopolimerlerin üretimi için gerekli olan ana hammadde (öncü) alümino-silikat malzemedir. Bu öncüler kaolin, zeolit, volkanik kül veya doğal puzolanlar gibi doğal kaynaklı olabilirler, fakat aynı zamanda metakaolin, uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu, kalsine edilmiş maddeler veya diğer endüstriyel kalıntılar gibi termal olarak işlenmiş malzemeler de olabilirler. Uçucu kül içerisinde bulunan kurşun, nikel, baryum, vanadyum, kobalt ve molibden benzeri ağır metallerin zararları çimento sektöründe kullanılarak zararları ihmal edilebilir. Bu ihmal kabiliyeti, çimentonun su ile reaksiyonu sonucu ortaya çıkan hidrasyon ürünlerindeki ağır metalleri bağlama özelliğinden kaynaklanmaktadır (Kaplan ve vd. 2020). Alümino-silikat malzeme, genel olarak alkalın çözeltisi olarak adlandırılan ikinci bir hammadde tarafından aktive edilmelidir. Yaygın kullanılan aktivatörler sodyum ve potasyum hidroksit, sodyum ve potasyum silikat çözeltileri ve sodyum karbonattır. Geopolimerizasyon, alümina ve silikaların karıştırılır karıştırılmaz hammaddelerden çözülmesi ile başlar. Geopolimerizasyon, yüksek düzeyde alkalın koşullarda katı alüminosilikat oksitler ve alkali metal silikat çözeltileri arasında ve Si-O-Al ve Si-O-Si bağlarından oluşan üç boyutlu amorf yarı kristal polimerik ve halka yapılara üç boyutlu şekil vermeyen heterojen bir kimyasal reaksiyon içerir (Robina ve Khadwal, 2015).



Polikondensasyon maddesinin alkali ile poli (sialatesilokso) oluşturmaları, (1) ve (2) denklemlerinde açıklandığı gibi gösterilebilir. (2) denklemindeki son terim, suyun geopolimerlerin oluşumunda meydana gelen kimyasal reaksiyon sırasında salındığını gösterir. Bu su, kütleme işlemi sırasında karışımdan atılır ve matristeki süresiz nano gözenekleri geride bırakarak geopolimerlerin meydana gelmesine katkı sağlar (Aleem, 2012). Bir geopolimer karışımındaki su, meydana gelen kimyasal reaksiyonda hiçbir rol oynamaz; sadece manipülasyon sırasında karışıma işlenebilirliği sağlar. Bu, hidrasyon işlemi sırasında bir Portland çimentosu betonu karışımındaki suyun kimyasal reaksiyonuna benzemektedir (Rangan, 2008). Geopolimerler, 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda sertleşen güçlü ve dayanıklı çimentolu malzemeler grubunda bulunur (Robina ve Khadwal, 2015). Zeolitin atık malzemesi hazır yer döşeme taşlarında kullanım için çok uygun bir malzemedir. Hafif asfalt beton karışımları üretmek için pomza ve zeolit atıklarının agrega malzemeleri olarak kullanılması, genel olarak, pomza ve zeolit agrega karışımlarına kıyasla kireçtaşı agrega karışımlarında daha düşük stabilite sağlamaktadır. Bu atık maddeler çok düşük ağırlıklara sahip olduklarından, kaldırım ve park alanları ile yollarda ağır olmayan araç trafiğinde aşınma tabakası olarak kullanılabilirler. Zeolitin hafif agregalarla birlikte kullanılması, önemli çevresel etkiler meydana getirmiştir (Terzi ve Büyükdoğan, 2018; Yılmaz ve vd. 2018). Bu çalışmada, literatürdeki referanslarda dikkate alınarak, geopolimer harçlarda zeolit katkısının dayanım üzerine olan etkilerini belirleyebilmek için 21 deney, 7 farklı parametre ile 160x40x40 mm prizma şeklindeki kalıplara dökülmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Buradaki amaç, Portland çimentosuna alternatif daha çevreci ve daha yeşil bir çimento üretimi için alternatifler sunmaktır. Dünyadaki çevre ve sağlıkla ilgili gelişmeler bu tür çalışmaların önemini ve gerekliliğini artırmaktadır.

1.1. Zeolitler (Zeolites)

Zeolit atomik düzeyde gözenekli yapıya sahip doğal ya da yapay olmak üzere sulu alümina silikat bileşiklerine verilen isimdir. Kelime anlamı kaynayan taş olan Zeolit'i ilk defa 1756 yılında İsveçli mineralog Fredrick Cronstedt keşfetmiştir. Isıtıldığında, su buharlaşır ve zeolitin hızlı su kaybına bağlı mineral buharının serbest kalmasıyla kaynayan taş görünümü ortaya çıkar, bundan dolayı kaynayan taş denmiştir. Genel manada silikat olarak tanımlanan zeolit, alkali ve toprak alkali katyonları içeren sulu bir alüminadır. Zeolitler, moleküllerin çevresel dezenfektasyon ve kimyasal reaksiyonları kolaylaştırmak için adsorbe edilebildiği, mikro-gözenekleri katyon ve su ile dolu olan bir petek yapısını taşıyan kristal katılardır (Zeolyst, 2020). 1750'den bu yana mineral türü olarak bilinmekle beraber kristal yapıları, x-ışınları etkisindeki kırınımı, I.R. emilimi, nükleer manyetik rezonans (NMR) ve elektron spin rezonans (ESR) gibi yöntemlerin geliştirilmesi ile ancak 1930'larda analiz edilebilmiştir. İskelet yapısındaki Si/Al oranları ile katyon cinsi muhtevası ve miktarındaki bazı farklılıklara rağmen; (M+, M+2) O.Al₂O₃.9SiO₂.nH₂O genel formülü ile gösterilebilir (Gülen, 2012). Zeolitik kayalar, Kazakistan topraklarında yaygın olarak bulunmaktadır. Benzersiz iyon değişimi sayesinde absorpsiyon oluşturmak için ekonomik ve ekolojik olarak düşük maliyetli bir hammaddedir. Doğal zeolit modifikasyon yöntemlerinin geliştirilmesi, sentetik analogları ikame edebilen kimyasal olarak modifiye edilmiş inorganik emicilerin amaca uygun bir şekilde inşa edilmesi ve iyon değiştirme özelliği sayesinde hafif, açık renk, doğal gözenekli yapısıyla endüstrinin çok önemli alanlarında kullanılmaktadır (Komisyon, 2001). Doğal zeolitlerin yaygın kullanım alanlarına sahip olması ve büyük pazar potansiyeline rağmen, günümüzde daha yeni yeni kabul görmeye başlamıştır. 1940'lı yıllarda zeolitlerin endüstriyel alanlarda kullanılabilirliğinin ortaya konulmasına rağmen tali mineral olarak sadece volkanik kayaların boşluk ve çatlaklarında bulunduğu bilgisi kullanım alanlarını sınırlamıştır. Ancak 1950'li yıllardan sonra deniz ve göllerde bulunan tüflerin de zeolit içerdiği bilgisi zeolitlerin kullanım alanlarını hızla arttırmıştır. Alüminosilikatın alkali aktivasyonu olarak da bilinen Geopolimerizasyon, kaolin, yüksek fırın cürufu veya uçucu kül gibi yüksek Al ve Si içerikli mineral kaynakları yüksek alkalın ortamlara maruz kaldığında senkronize bir ayrışma davranışı gösteriler (Panagiotopoulou ve vd., 2007). Son zamanlarda betonun sülfat direncini artırmak amacıyla yapılan çalışmada zeolitin, hem eğilme hem de basınç performansını %10 civarında artırdığı gözlemlenmiştir (Bingöl, Balaneji (2019). Zeolitik tüf ve mermer atıklarıyla üretilen alkali aktifleştirilmiş kompozitin özellikleri üzerine yapılan deneysel çalışmada, geopolimerlerin yüksek basınç dayanımı ve termal iletkenlik sergiledikleri belirlenmiştir (Tekin ve vd.,2020).

1.2. Literatür (Literature of Zeolite and Geopolymer)

Alcántara ve ekibi, doğal zeolit (klinoptilolitleri) hidratlamak için kalsiyum hidroksit kullanarak elde edilen materyalin maksimum 38,7 MPa basınç dayanımı gösterdiğini bildirmişlerdir (Ortega ve vd., 2000).

Villa ve arkadaşları tarafından, sodyum silikat ve sodyum hidroksit karışımı çoğunlukla klinoptilolit içeren doğal zeolitin aktivasyonu için kullanılmıştır. Bu karışım, hafif yükseltilmiş sıcaklıkta (40°C) bir gün sertleştirilmiş ve oda sıcaklığında bekledikten sonra 28. günde test edilmiştir. 33 MPa kadar olan yüksek mukavemet değerleri elde edilmiştir. Basınç dayanımı ve sıcaklık arasında gösterilen bağımlılık, iyi basınç dayanımı özelliklerine sahip bir geopolimer elde etmek için hammaddenin termal aktivasyona duyduğunu gösterir. Ayrıca, kısa kürlenme süreleri ile yüksek sıcaklıklarda (60 ve 80 C) de basınç dayanımını destekler. Düşük sıcaklıklar (25 ve 40 C), mukavemette önemli bir artış oluşturmak için uzun kürlenme süreleri gerektirir. (Villa ve vd., 2010). Bondar ve

diğerleri, geopolimerler üretmek için bazı klinoptilolitlerden oluşan Shahindej dacite adlı İran doğal puzolanını kullanmıştır. Elde edilen sonuçlar, çalışma için kullanılan optimum suda çözünür cam modülünün ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ oranı) 2,1'e eşit olduğunu göstermektedir. Ham maddenin en iyi aktivasyonu, potasyum hidroksit ve sodyum cam suyu karıştırılarak elde edilmiştir (Bondar ve vd., 2010). Nikolov ve diğerleri araştırma yapmak için Bulgaristan'ın Doğu Rodop bölgesindeki Beli Plast yatağındaki doğal zeoliti kullanmışlardır. Kullandıkları doğal zeolit mineral bileşimi %70-75 Klinoptilolit, %10 Cristobalit, %5-10 amorf durum ve %5'in altında sanidin, kalsit ve dolomit içerdiğini bildirmişlerdir. Çalışmalarında, 20 °C de kürlenmiş sodyum silikat ile aktive edilmiş zeolit karışımından 40x40x40 mm ölçülere sahip küp numunelerde 28 günlük en yüksek basınç dayanımı elde edildiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca sodyum karbonat ile aktive edilen zeolitlerde çiçeklenme tespit etmişlerdir. Doğal zeolit farklı tiplerdeki alkalın aktivatörleri ile karıştırılmasının, niteliksel olarak farklı bir yapıya sahip katı bir madde oluşumuna yol açtığı sonucuna varmışlardır. Bununla birlikte, sentezlenen geopolimer malzemenin fiziksel özellikleri çoğunlukla alümino-silikat malzemenin türüne, numunenin hazırlama yöntemine, sertleştirme koşullarına, partikül büyüklüğü dağılımına ve alkalın aktivatörünün konsantrasyonuna ve tipine bağlı olduğunu bildirmişlerdir (Nikolov ve vd., 2017). Başka bir çalışmada ise Nikolov ve arkadaşları 900 °C ye kadar ısıtılarak kalsinasyon yapılan doğal zeolite, metazeolit adını verdikleri malzemenin potasyum silikat ile aktive edilmesiyle oluşturulan geopolimer malzemenin, h=40 mm ve $\varnothing=30$ mm silindir numunelerde basınç dayanımının doğal zeolite oranla 3 katına çıktığını belirtmişlerdir (Nikolov ve vd., 2020). Nakshatra geopolimerizasyon sürecini etkileyen parametreleri şöyle sıralamıştır: Alümino-silikat içeren hammadde türü, katı hammaddelerin yüzey alanı, hammadde içindeki camsı faz içeriği, alüminyum ve reaktif silikon miktarı, uçucu küldeki demir, kalsiyum ve inert parçacıkların varlığı, sertleşme sıcaklığı ve basıncı, kürlenme süresi, sertleştirme tipi (geleneksel ısıtma veya mikrodalga ısıtma), alkalilerin türü ve konsantrasyonu, alkali sıvı-hammadde oranı, $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ mol oranı, s 560u miktarının geopolimer katı ağırlığına oranı, $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ oranı ve $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ oranıdır (Singh, 2018). Shinde ve ekibi, 80°C sıcaklıkta 24 saat kürlenmiş 70,6 mm boyutlarında olan küp numunelerde 7 günlük basınç dayanımı testleri yapmışlardır. Na_2SiO_3 ve NaOH la aktive edilen uçucu kül ile hazırladıkları geopolimer harcın etüv kürlenmesi öncesi ortam sıcaklığında 4 güne kadar beklemesinin dayanımı artırdığını belirlemişlerdir. 4 günden sonraki süreçte ise dayanımın düştüğünü tespit etmişlerdir (Bhushan ve vd., 2015).

2. Malzeme ve Yöntemler (Material and Methods)

Bu bölümde, harç malzemesini oluşturan bileşenler kullanılarak, maksimum dayanımı elde etmek için kullanılan yöntemler alt başlıklarda ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

2.1. Malzemeler (Materials)

Deneysel çalışmada maksimum dayanımı elde etmek için harç malzemesini oluşturan bileşenlerden çeşitli karışım oranları denenmiştir. Geopolimer harç üretmek için kullanılan malzemeler, tanecik yoğunluğu 2240 kg/m^3 , $45 \mu\text{m}$ 'dan küçük tanecik boyutu %80-85 civarında ve blaine özgül yüzey alanı $3185 \text{ cm}^2/\text{g}$ olan İskan Sugözü Termik Santralleri'nden temin edilen F tipi Uçucu Kül, Zülfikarlar Grubu Akça Kimyadan temin edilen %98 saflıkta Payet Kostik (sodyum Hidroksit) çözeltisi, Asit Kimya'dan temin edilen %50 saflıkta Sodyum Silikat çözeltisi, Gördes Zeolit A.Ş'den elde edilen tanecik yoğunluğu $1980-2180 \text{ kg/m}^3$, blaine özgül yüzey alanı $4079 \text{ cm}^2/\text{g}$ ve boyutu $50 \mu\text{m}$ olan Zeolit, tane boyutu 0-2 mm olan Rilem kumundan oluşmaktadır. Uçucu Külün kimyasal bileşimi Tablo 1'de verildiği gibidir.

Tablo 1. Uçucu külün kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri (Chemical composition and physical properties of fly ash)

Bileşenler	%
$\text{SiO}_2,1$	57,34
$\text{Al}_2\text{O}_3,2$	24,91
$\text{Fe}_2\text{O}_3,3$	6,05
1, 2, 3 Toplamı	88,3
CaO	3,98
SO_3	0,47
Na_2O	1,24
Cl-	0,05
LOI (Kızdırma kaybı)	2,24
İncelik ($>45 \mu\text{m}$)	17,4

Sodyum Silikat sıvısı ile alkalın aktivatör çözeltisi yapmak için 14 molar Sodyum Hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Alkalın aktivatör olarak kullanılan Sodyum Silikat (Na_2SiO_3) ise sıvı formda, karışım oranları $\text{Na}_2\text{O} = \%13,5-15$, $\text{SiO}_2 = \%27-30$, $\text{H}_2\text{O} = \%48-50$ ve özgül ağırlığı 1510 kg/m^3 'tür. Rilem Cembureau Standart kumu TSE EN 196-1'e uygun olarak hazır paketlerde temin edilmiştir. Akışkanlaştırıcı olarak crystal superplasticizer kullanılmıştır. Zeolit kimyasal bileşimi Tablo 2'de verildiği gibidir.

Tablo 2. Zeolit kimyasal bileşimi (Chemical composition of zeolite) (Gordes,2020)

Bileşenler	%
SiO_2	71,6
Al_2O_3	11,3
Fe_2O_3	1,39
MnO	0,02
TiO_2	0,08
MgO	0,86
SrO	0,03
CaO	2,27
Na_2O	0,86
K_2O	3,67

2.2. Yöntemler (Methods)

Geopolimer karışım harcındaki değişken parametreler Uçucu Kül ve Zeolit miktarı, Sodyum Hidroksit ve Sodyum Silikat çözeltilerinin miktarları, varsa ekstra su ve akışkanlaştırıcı miktarlarıdır. Karışım malzemeleri ve oranlarının belirlenmesinde literatürdeki bilgilerden faydalanılmış ve araştırma öncesi yapılan ön deneylerden elde edilen tecrübeler ışığında, zeolit kullanılmadan elde edilebilecek yüksek dayanımlı geopolimer harçlar tespit edilmiştir. Daha sonraki süreçte bu geopolimer harçlara zeolit katkısının etkisi deneysel olarak ~~ler yapılarak~~ araştırılmıştır.

Çalışmada 21 adet karışım üzerine çalışılarak, elde edilen en yüksek dayanımlı sonuçların doğrulaması ilave deneylerle tekrar edilmiştir. Deneylerde kullanılan karışım miktarları Tablo 3'te verildiği gibidir.

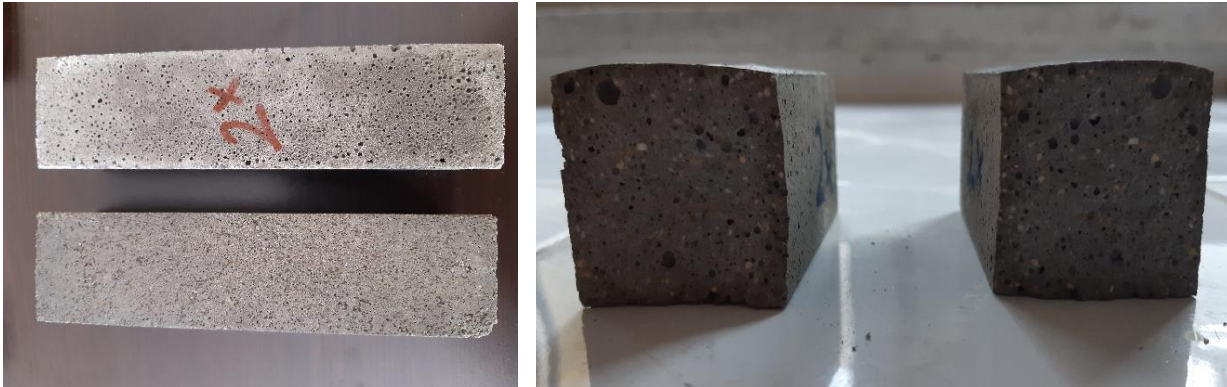
Tablo 3. Karışım malzemeleri ve miktarları (Mixture materials and quantities)

Deney Adı	Uçucu Kül (gr.)	Sodyum Silikat Çözeltisi (gr.)	Sodyum Hidroksit Çözeltisi (gr.)	NaOH Çözelti (Su) (gr.)	NaOH Çözelti (NaOH) (gr.)	Zeolit (gr.)	Rilem Kumu (gr.)	Akışkanlaştırıcı (gr.)
GP1	312,0	108	31,2	20	11,2	-	936	-
GP2_1	312,0	82	32,8	21	11,7	15,6	982	-
GP2_2	312,0	86	34,3	22	12,3	31,2	1029	-
GP2_3	312,0	90	35,9	23	12,8	46,8	1076	-
GP2_4	312,0	94	37,4	24	13,4	62,4	1123	-
GP3_1	312,0	108	31,2	20	11,2	-	936	9,00
GP3_2	296,4	108	31,2	20	11,2	15,6	936	9,00
GP3_3	280,8	108	31,2	20	11,2	31,2	936	13,00
GP3_4	265,2	108	31,2	20	11,2	46,8	936	17,00
GP3_5	249,6	108	31,2	20	11,2	62,4	936	21,00
GP3_6	234,0	125	36,2	23	12,9	78,0	936	25,00
GP4_1	312,0	78	31,2	20	11,2	-	936	4,68
GP4_2	265,2	78	31,2	20	11,2	46,8	936	9,68

Tablo 3. Devamı (Continued)

Deney Adı	Uçucu Kül (gr.)	Sodyum Silikat Çözeltisi (gr.)	Sodyum Hidroksit Çözeltisi (gr.)	NaOH Çözelti (Su) (gr.)	NaOH Çözelti (NaOH) (gr.)	Zeolit (gr.)	Rilem Kumumu (gr.)	Akışkanlaştırıcı (gr.)
GP4_3	265,2	78	31,2	36	11,2	46,8	936	-
GP4_4	265,2	88	35,2	23	12,6	46,8	936	-
GP4_5	265,2	78	46,8	30	16,8	46,8	936	-
GP4_6	265,2	94	31,2	20	11,2	46,8	936	-
GP5_1	265,2	78	31,2	20	11,2	46,8	936	9,68
GP5_2	265,2	108	31,2	20	11,2	46,8	936	5,00
GP6_1	312,0	108	31,2	20	11,2	-	936	-
GP6_2	312,0	108	31,2	20	11,2	46,8	936	17,00

Deneylerde yapılan harç karışımları TS EN 12390-1 tanımlanan 40x40x160 mm'lik numune boyutlarında üretilmiştir (TS EN, 2020). Her deneyden 3 adet numune üretilerek eğilme ve basınç deneylerine tabii tutulmuştur (Şekil 1). Prizma numuneler kırılmadan önce 90°C'de 24 saat fırında kürlenmiştir. Karıştırma işlemi sırasında önce Rilem Kumumu, Uçucu Kül ve Zeolit 5 kg'lık harç mikserinde 1 dakika karıştırıldıktan sonra NaOH ve Na₂SiO₃ çözeltileri ilave edilerek en son olarak akışkanlaştırıcı eklenmiştir. Toplam karıştırma süresi 3 dakikadır. Karışımda ve Rilem Kumumunda herhangi bir su muhtevası yoktur. Çalışmada ekstra bir su ilavesi de yapılmamıştır. Sadece çözeltilerde bulunan kadarı ile karışım su içermektedir.



Şekil 1. Deneysel numuneler (Experimental samples)

- İlk grup deneylerde literatürdeki bilgilerden faydalanılarak karışım malzemeleri ve oranları belirlenirken öncelikle zeolit kullanılmadan elde edilebilecek en yüksek dayanımlı geopolimer harç tespit edilmiştir. Araştırma öncesi yapılan ön deneylerden elde edilen tecrübeler ışığında su ilavesinin dayanıma olumsuz etkideği görülmüştür. Dolayısıyla kıvam ayarlamak için çalışmadaki hiçbir deneyde su ilavesi yapılmamıştır.
- İkinci grup deneylerde farklı oranlardaki zeolit katkısının dayanıma olan etkisi araştırılmıştır. Uçucu kül ve zeolit toplam ağırlığı alüminosilikat grubu olarak kumun 1/3'ü olacak şekilde deneylerde belirlenmiştir. Uçucu külün %5'i, %10'u, %15'i ve %20'si oranında zeolit katkısı ile kum miktarı da arttırılmıştır. İlave zeolit ve kum katkısının kıvama olan olumsuz etkisini gidermek için NaOH ve Na₂SiO₃ çözeltileri de aynı oranda arttırılmıştır.
- Üçüncü grup deneylerde Uçucu külün %5'i, %10'u, %15'i ve %20'si oranında Zeolit katkısı yapılarak katkı miktarınca uçucu kül ağırlığı azaltılmıştır. Karışımdaki alüminosilikat toplam ağırlığı değişmediği için NaOH ve Na₂SiO₃ çözeltilerinin oranları da değiştirilmemiştir. Fakat zeolit miktarının artmasına bağlı olarak kıvamdaki akışkanlığı sağlamak için üçüncü grup deneylerde zeolit miktarının ağırlıkça %3-6 oranında akışkanlaştırıcı ilave edilmiştir.
- Dördüncü grup deneylerde daha önce belirlenen zeolit miktarı 46,8 gram olarak sabitlenerek, NaOH ve Na₂SiO₃ çözeltileri oranları, dayanıma olan etkisinin belirlenmesi amacıyla değiştirilmiştir. Önceki deneyde akışkanlaştırıcı ilavesinin basınç dayanımına olumsuz etki ettiği görülmüştür. Dolayısıyla, bu gruptaki deneylerin bir kısmında akışkanlaştırıcı ilavesi zeolite oranla %1-2 seviyesine azaltılarak yapılmasına karşın diğer bir kısmında yapılmamıştır.

- Beşinci grupta GP4_2 numunesi GP5_1 olarak tekrar kontrol edilmiştir. GP5_2 numunesinde ise akışkanlaştırıcı ilavesi azaltılarak kıvamı korumak için Na_2SiO_3 çözeltisi miktarı arttırılmıştır. 2. numunede akışkanlaştırıcının dayanıma olan etkisi kontrol edilmek istenmiştir.
- Altıncı grupta ise GP6_1 numunesi ile ilk deneyi (GP1) doğrulamak ve GP6_2 numunesi ile uçucu külün artması durumunda GP3_4 numunesine göre dayanımdaki değişiklik araştırılmıştır.

Deneysel çalışmalar sırasında imal edilen harçlar oda sıcaklığında dinlendirilmeden, önceden ısıtılmış fırında, döküldüğü kalıplarla birlikte kürlenmiştir. Eğilme ve basınç deneyleri ise fırından çıkarıldığı gün veya ertesi gününde gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular (Findings)

Bu bölümde, geopolimer harç numunelerine zeolit katkısının eğilme ve basınç dayanımına etkisi ve Alüminosilikat ile alkali aktivatör karışım oranlarının dayanıma etkisini bulmak amacıyla yapılan testler ile ilgili bilgiler ve elde edilen önemli bulgular alt başlıklar altında çeşitli şekil, tablo ve grafikler ile ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

3.1. Eğilme ve Basınç Dayanımları (Flexural and Compression Strengths)

Geopolimer harç numunelerine zeolit katkısının eğilme ve basınç dayanımına etkisini araştırmak amacıyla test yapılan numuneler sadece zeolit katkı oranına göre Tablo 4'de A ve B gruplarına ayrılmıştır. Eğilme ve basınç dayanımlarında her iki grup geopolimer harçlarda zeolit katkısının %5-10 aralığında mukavemeti artırıcı etki yaptığı, ancak zeolit katkı oranı artması durumunda eğilme ve basınç dayanımlarında büyük oranlarda azalmalar meydana gelmiştir. Basınç ve eğilme dayanım testleri Şekil 2'de verilen basınç test düzeneği ile TS EN 1015-11'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir (TS EN, 2020)



Şekil 2. Eğilme ve Basınç dayanımı deneyi (Experiment of Flexural and compression strength)

Zeolit katkısı olmadan, karışım oranları araştırma öncesindeki deneylerle belirlenen en yüksek dayanıma sahip deney numunesi GP1'dir. Bu nedenle zeolit katkısının dayanıma olan etkisi çalışmaya referans olarak belirlenen GP1 numunesinin mekanik özellikleri üzerinden değerlendirilmiştir.

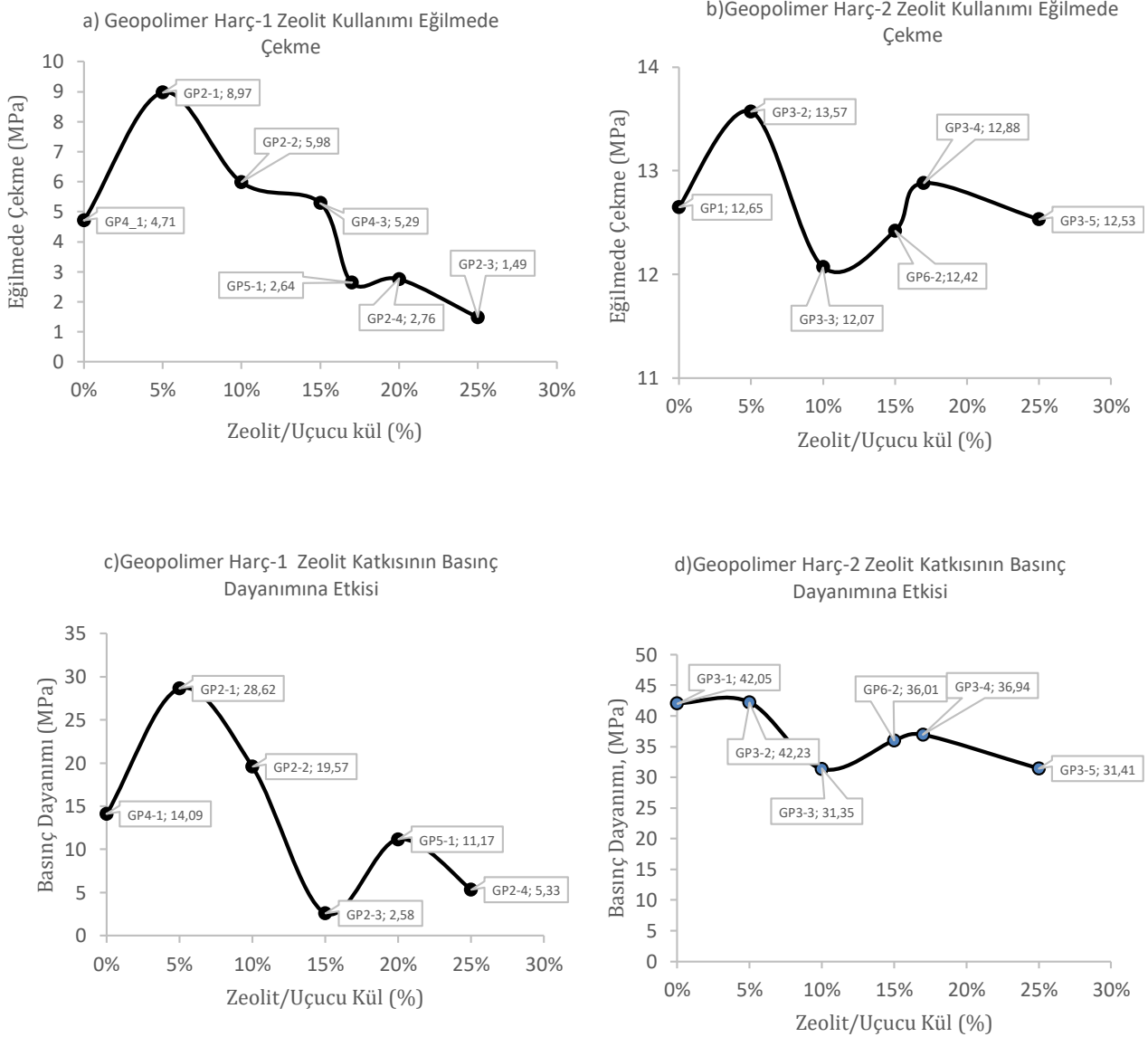
Tablo 4. Geopolimer harçlarda zeolit katkısının eğilme ve basınç dayanımına etkisi (The effect of zeolite additive on flexural and compressive strength in geopolimer mortars)

Zeolit/Uçucu Kül	Deney Adı	Alkali aktivatör /Alüminosilikat	$\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$	Eğilme Dayanımı MPa	Basınç Dayanımı MPa
Grup-A					
0%	GP4_1	0,35	2,50	4,71	14,09
5%	GP2_1	0,35	2,50	8,97	28,62
10%	GP2_2	0,35	2,50	5,98	19,57
15%	GP4_3	0,35	2,50	5,29	5,29
17%	GP5_1	0,35	2,50	2,64	11,17
20%	GP2_4	0,35	2,50	2,76	5,33
25%	GP2_3	0,35	2,50	1,49	2,58

Tablo 4. Devamı (Continued)

Zeolit/Uçucu Kül	Deney Adı	Alkali aktivatör /Alüminosilikat	Na ₂ SiO ₃ /NaOH	Eğilme Dayanımı MPa	Basınç Dayanımı MPa
Grup-B					
0%	GP1	0,45	3,46	12,65	42,05
5%	GP3_2	0,45	3,46	13,57	42,23
10%	GP3_3	0,45	3,46	12,07	31,35
15%	GP6_2	0,39	3,46	12,42	36,01
17%	GP3_4	0,45	3,46	12,88	36,94
25%	GP3_5	0,45	3,46	12,53	31,41

Grup A ve Grup B olarak iki ayrı geopolimer harçta kullanılan kimyasal içerikler aynı kalmak şartıyla yani alkali aktivatörler ve toplam Alüminosilikat miktarı sabit tutularak farklı oranlarda ilave edilen zeolit katkısı sonucunda eğilmede çekme ve basınç dayanımlarındaki değişim Şekil 3'te grafik olarak gösterilmektedir. Bu grafiklerden görüldüğü üzere %5-10 oranında zeolit kullanımı dayanımı artırıcı etki yapmıştır. Her iki harçta kullanılan zeolit oranı artırılması mukavemette azalmaya neden olmuştur.



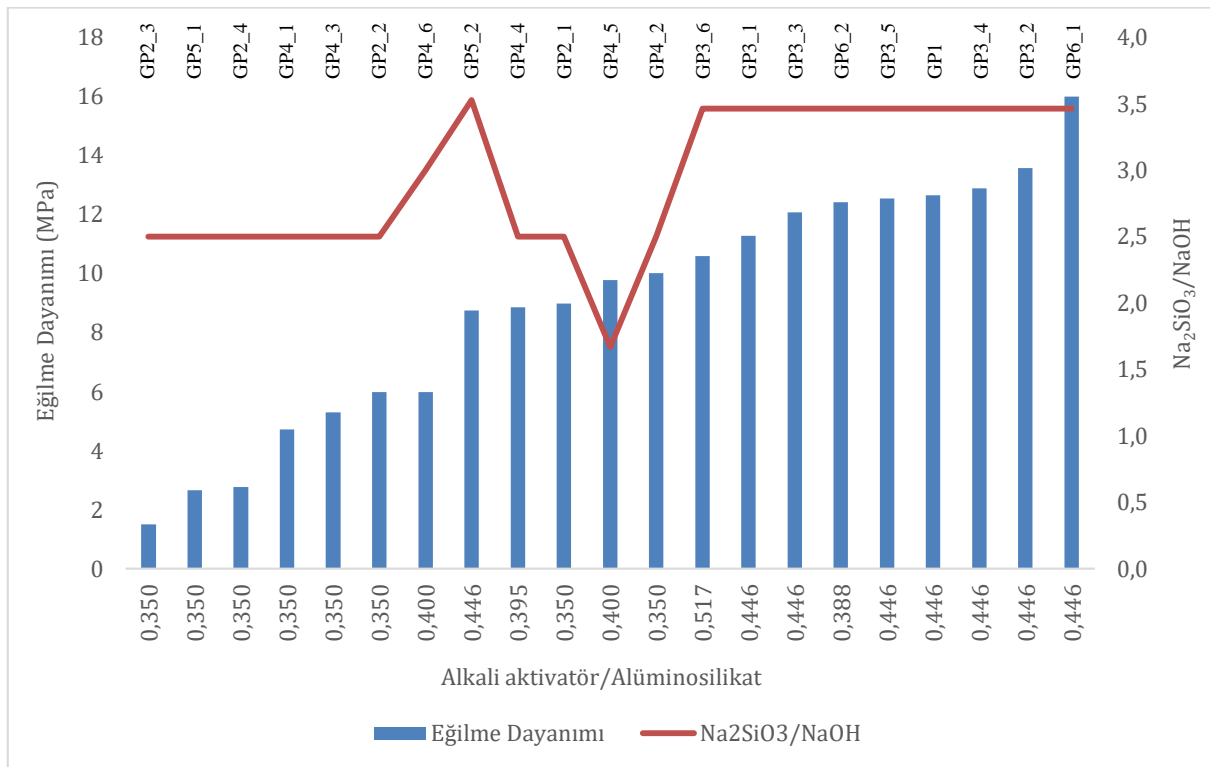
Şekil 3. Eğilme/Basınç dayanımları değişimleri (Flexural/Compression strength changes)

Eğilme dayanımlarında zeolit katkıli harçlardan referans numune dayanımına yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ancak basınç ve eğilme dayanımları için bu fark büyüyerek daha da belirginlik kazanmıştır. Basınç ve eğilme dayanımında zeolit katkıli en iyi sonuç GP2_1 ve GP3_2 numunelerinden elde edilmiştir. Sonuç olarak, tüm numunelerin bir günlük eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Geopolimer harç içine katkı olarak zeolit koyulması önemli oranda dayanımı arttırıcı mukavemet parametrelerini vermese de zeolitlerin, ağır metal iyonlarını yok etme yetenekleri dolayısıyla çimentoya göre daha düşük çevresel zararlı etki barındıran yeşil yapı harçları olarak kullanılabilceği bulunmuştur.

Na_2SiO_3 çözeltisinin karışımdaki miktarının artırılması eğilme dayanımını arttırmakta basınç dayanımını ise azaltmaktadır. Na_2SiO_3 çözeltisinin karışımdaki miktarının düşürülmesi ise eğilme dayanımının azalmasına basınç dayanımının artmasına neden olmaktadır. En iyi eğilme ve basınç dayanımı GP3_2 numunesinden elde edilmiştir (Şekil 3).

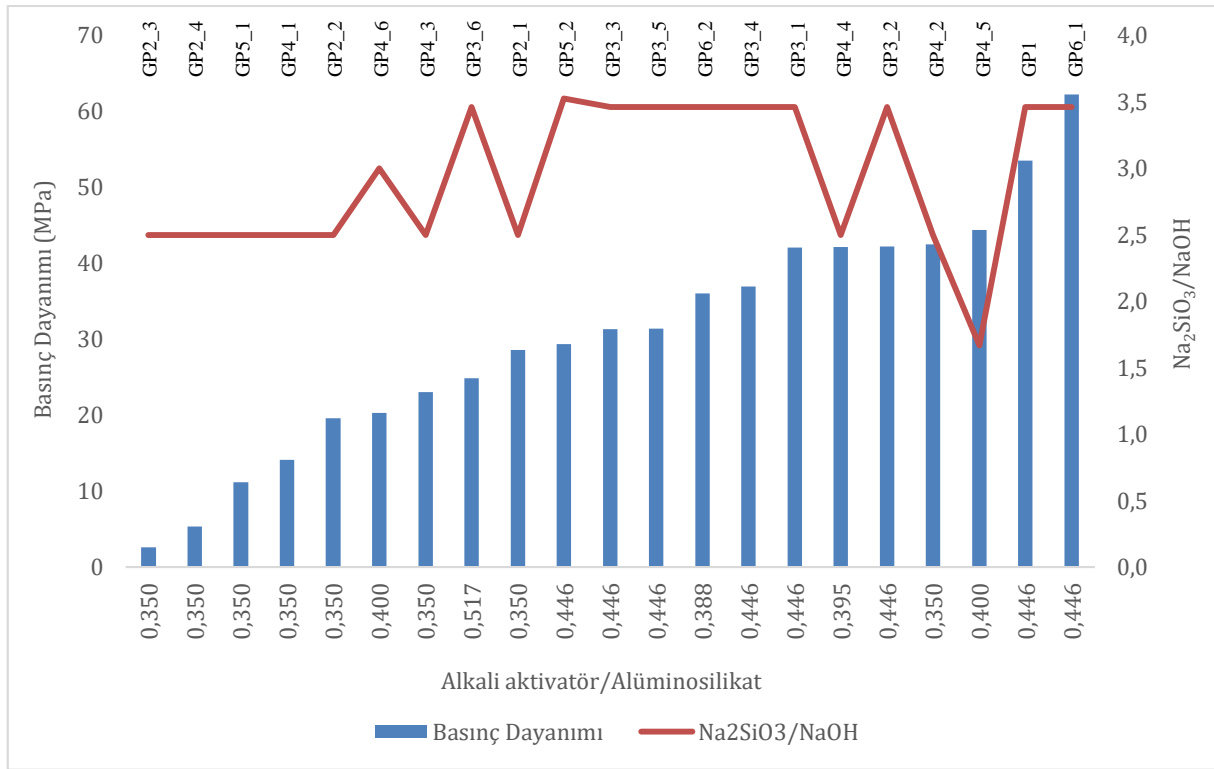
3.2. Alüminosilikat ve Alkali Aktivatör Karışım Oranlarının Dayanıma Etkisi (The effect of aluminosilicate and Alkaline Activator Mixture Ratios on Strength)

Alüminosilikat olarak kullanılan uçucu kül ve zeolit karışım miktarlarının alkali aktivatör olarak kullanılan NaOH ve Na_2SiO_3 çözelti miktarlarına göre karışım oranları harç dayanımlarında belirleyici rol oynamaktadır. Eğilme dayanımı ve $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ oranının toplam Alkali_aktivatör/Alüminosilikat oranına göre değişimi şekil 4'de verildiği gibidir.



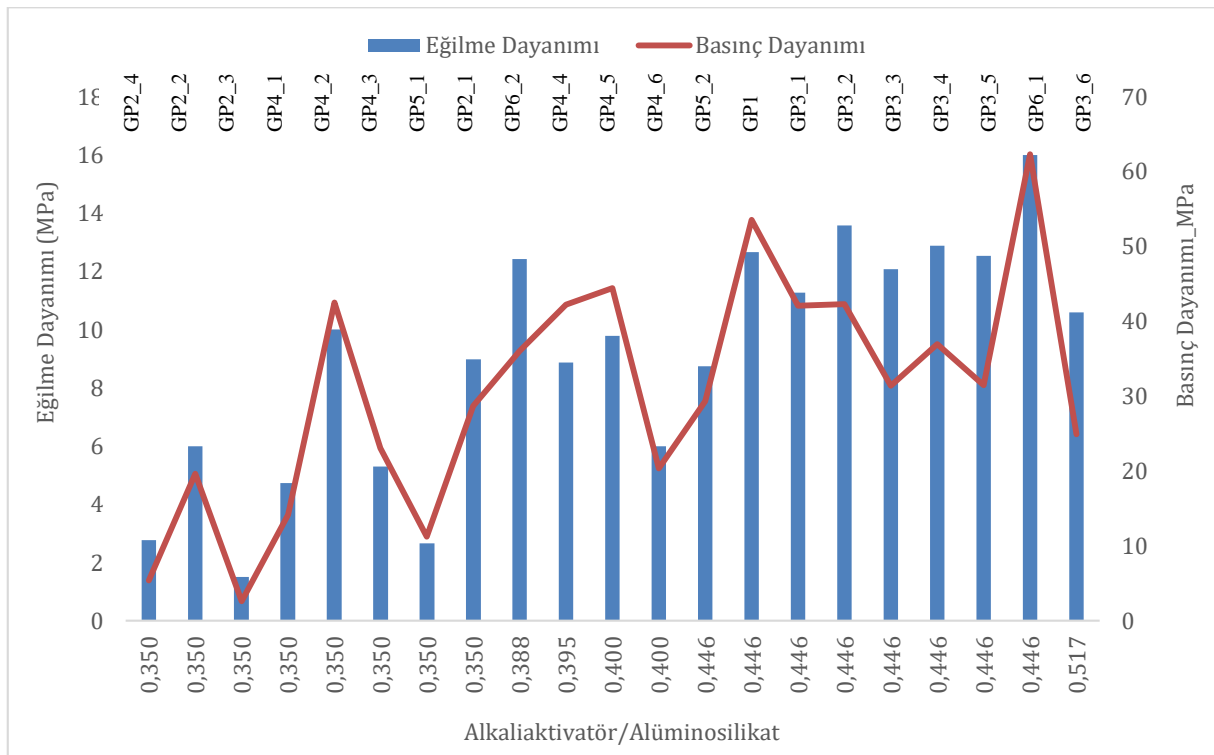
Şekil 4. Eğilme dayanımı ve $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ oranının toplam Alkali aktivatör/Alüminosilikat oranına göre değişimi (Flexural strength and variation of $\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH}$ ratio according to total alkaline activator / aluminosilicate ratio)

Genel olarak alkali aktivatörlerin toplam alüminosilikat miktarına göre azaltılması eğilme dayanımında olumlu sonuçlar verirken basınç dayanımının daha başkaca faktörler etkisi altında olduğu görülmektedir. Alüminosilikat gurubu içinde zeolitinin olup olmaması eğilme dayanımında belirleyici olmazken basınç dayanımında zeolit katkısının olması dayanımı düşürmektedir. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek eğilme dayanımları Alkali aktivatör/Alüminosilikat oranının 0,446 ve $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ oranının 3,462 olduğu deneylerden elde edilirken maksimum eğilme dayanımı zeolit katkısı olmayan GP6_1 deneyi sonucunda bulunmuştur. En yüksek basınç dayanımları Alkali aktivatör/Alüminosilikat oranının 0,446 ve zeolit katkısı olmayan deneylerden elde edilirken $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ oranının basınç dayanımında etkisinin daha düşük olduğu görülmüştür. Basınç dayanımı ve $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ oranının toplam Alkali aktivatör/Alüminosilikat oranına göre değişimi şekil 5'de verildiği gibidir.



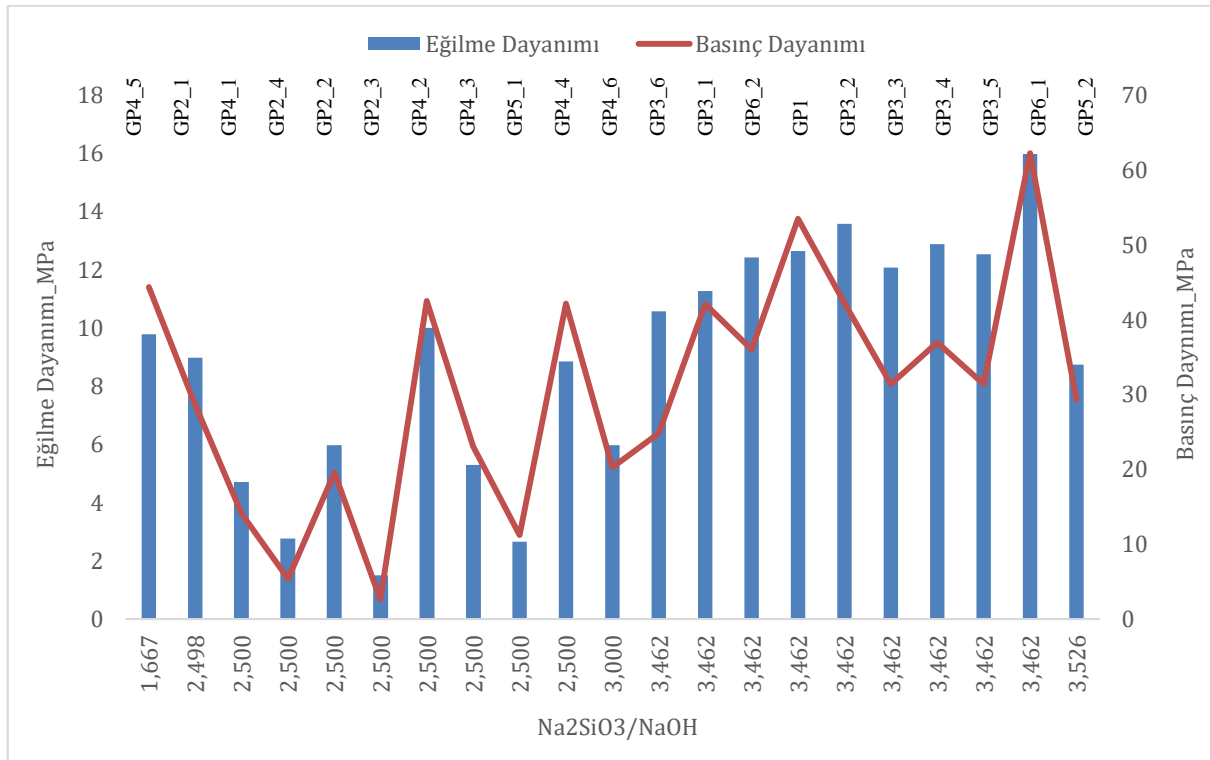
Şekil 5. Basınç dayanımı ve Na₂SiO₃/NaOH oranının toplam Alkali aktivatör/Alüminosilikat oranına göre değişimi (Compressive strength and change of Na₂SiO₃ / NaOH ratio according to total alkaline activator / aluminosilicate ratio)

Eğilme ve basınç dayanımının toplam alkali aktivatör/alüminosilikat oranına göre değişimi Şekil 6'da verildiği gibidir. Zeolit katkılı numunelerde alkali aktivatör/alüminosilikat oranının 0,446 ve Na₂SiO₃/NaOH oranının 3,462 olması durumunda eğilme dayanımının yükseldiği görülmektedir. Örnek olarak GP3-2, GP3-3 ve GP3-4 gösterilebilir. En yüksek dayanım GP1 ve GP6-1 ile alkali aktivatör/alüminosilikat oranının 0,446 olduğu zeolit katkısız deneylerden elde edilmiştir.



Şekil 6. Alkali_aktivatör/Alüminosilikat oranlarına göre eğilme ve basınç dayanımları (Flexural and Compression strength according to alkali_activator / aluminosilicate ratios)

Eğilme ve basınç dayanımının $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ oranına göre değişimi Şekil 7’de verildiği gibidir. Zeolit katkısının %5’in üstünde olduğu durumlarda en yüksek basınç dayanımı alkali aktivatör/alüminosilikat oranının 0,35-0,40 ve $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ oranının 2,5 olması durumunda elde edildiği anlaşılmıştır. Örnek olarak GP4-2, GP4-4 ve GP4-5 gösterilebilir. En yüksek dayanım GP1 ve GP6-1 ile $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ oranının 3,462 olduğu zeolit katkısız deneylerden elde edilmiştir.



Şekil 7. $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ oranlarına göre eğilme ve basınç dayanımları (Flexural and Compression strength according to $\text{na}_2\text{sio}_3 / \text{NaOH}$ ratios)

Çalışmadaki malzeme karışım oranları ve bunlara göre elde edilen dayanım değerleri Tablo 5’te verildiği gibidir. Zeolit katkısı olmayan deneyler GP1, GP3-1, GP4-1 ve GP6-1’dir. GP4-1’deki malzeme karışım oranlarının zeolit katkısız diğer deneylerden farklı olması sonucu eğilme ve basınç dayanımı değerleri de buna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. %15 zeolit katkılı deneylerde en yüksek basınç dayanımı GP4-5, en yüksek eğilme dayanımı ise GP3-4 deneyinden elde edilmiştir. Buna göre malzeme karışım oranlarına bağlı olarak eğilme dayanımının artarken basınç dayanımı düşmekte, basınç dayanımı artarken ise eğilme dayanımı azalmaktadır. Eğilme ve basınç dayanımı açısından en iyi zeolit katkılı deney uçucu külün %5’i oranında zeolit katkısı yapılan GP3-2 deneyidir. Ancak her hâlükârda en yüksek dayanımlar zeolit katkısız GP6-1 deneyinden elde edilmiştir.

Tablo 5. Alkali Aktivatör ve Alüminosilikat oranlarının dayanıma etkisi (Effect of alkaline activator and aluminosilicate ratios on strength)

Deney Adı	Alkali aktivatör / Alüminosilikat	$\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH}$	Eğilme Dayanımı MPa	Basınç Dayanımı MPa
GP1	0,446	3,462	12,65	53,50
GP2_1	0,350	2,498	8,97	28,62
GP2_2	0,350	2,500	5,98	19,57
GP2_3	0,350	2,500	1,49	2,58
GP2_4	0,350	2,500	2,76	5,33
GP3_1	0,446	3,462	11,27	42,05
GP3_2	0,446	3,462	13,57	42,23
GP3_3	0,446	3,462	12,07	31,35
GP3_4	0,446	3,462	12,88	36,94

Tablo 5. Devamı (Continued)

Deney Adı	Alkali aktivatör / Alüminosilikat	Na ₂ SiO ₃ / NaOH	Eğilme Dayanımı MPa	Basınç Dayanımı MPa
GP3_5	0,446	3,462	12,53	31,41
GP3_6	0,517	3,462	10,58	24,85
GP4_1	0,350	2,500	4,71	14,09
GP4_2	0,350	2,500	10,00	42,50
GP4_3	0,350	2,500	5,29	23,02
GP4_4	0,395	2,500	8,85	42,17
GP4_5	0,400	1,667	9,77	44,37
GP4_6	0,400	3,000	5,98	20,28
GP5_1	0,350	2,500	2,64	11,17
GP5_2	0,446	3,526	8,74	29,32
GP6_1	0,446	3,462	15,98	62,26
GP6_2	0,388	3,462	12,42	36,01

4. Tartışma ve Sonuç (Result and Conclusion)

Bu çalışmada üretilen geopolimer harç numunelerinde zeolit katkısının dayanım üzerindeki etkileri ortaya çıkarılmıştır. Eğilme dayanımı açısından zeolit katkılı deneyler ile alimünosilikat olarak sadece uçucu külün kullanıldığı deneyler arasında benzer sonuçlar elde edilmesine rağmen basınç dayanımı açısından zeolit katkılı deneylerden daha olumsuz sonuçlar elde edilmiştir. Basınç dayanımını arttırmak için Alkali_aktivatör/Alüminosilikat oranları ve Na₂SiO₃/NaOH oranları değiştirilmiştir. Bu oranların değişmesi sonucu basınç dayanımlarında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ancak basınç dayanımının iyileştirilmesi eğilme dayanımında düşüşe neden olmuştur. Ayrıca zeolit katkılı deneylerin basınç dayanımlarından elde edilen en iyi sonuçlar bile alimünosilikat olarak sadece uçucu külün kullanıldığı deneylerden daha düşük mertebede kalmıştır. Alümino silikat olarak uçucu külün yanında zeolitinde kullanıldığı deneylerde eğilme ve basınç dayanımları arasında ters bir orantı ortaya çıkmıştır. Eğilme dayanımının yüksek olduğu durumda basınç dayanımı düşmüş, basınç dayanımının yükselmesi durumunda ise eğilme dayanımı düşük çıkmıştır. Ayrıca bu eğilme ve basınç dayanımları hiçbir zaman zeolit katkısı olmadan üretilen numunelerden elde edilen eğilme ve basınç dayanımlarına ulaşamamıştır. Zeolit katkısı ile alkali aktivatör ve alüminosilikat oranlarının değiştirilmesi sonucu bir takım farklı dayanımlar elde edilmesine rağmen bu dayanımlar hiçbir zaman zeolit katkısız deneylerden daha üstün bir düzeye erişememiştir. Araştırma sonunda geopolimer harç içine katkı olarak zeolit ilave edilmesi dayanımı önemli oranda arttırmamış ve hatta biraz düşürmüş olsa dahi zeolitlerin, ağır metal iyonlarını yok etme özelliklerinden dolayı çimentoya göre daha düşük çevresel zararlı etki barındıran yeşil yapı harçları olarak kullanılabilirliği bulunmuştur.

Çıkar Çatışması (Conflict of interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Basha S, M., ve Reddy Ch, B., K, V., (2016). Strength behaviour of geopolymer concrete replacing fine aggregates by M- sand and E-waste. International Journal of Engineering Trends and Technology 40(7): 401-7, Doi: 10.14445/22315381/IJETT-V40P265.
- Bhushan H. Shinde., Dr. Kshitija N. Kadam., (2015). Properties of Fly Ash based Geopolymer Mortar. International Journal of Engineering Research And V4(07), Doi: 10.17577/IJERTV4IS070750.
- Bingöl, A , Balaneji, H . (2019). Yüksek Fırın Cürufu Ve Zeolit Katkılı Betonların Sülfat Direncinin Belirlenmesi . Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi , 7 (2) , 254-264 . DOI: 10.21923/jesd.454132
- Bondar, D., Lynsdale, C.J., Milestone, N.B., Hassani, N., Ramezani-pour, A.A., (2010). Engineering properties of alkali activated natural pozzolan concrete. 2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies: 1093-102, Doi: 10.14359/51664217.

- Gordes Zeolite., n.d. Clinoptilolite Technical data sheet, (2020).
http://zeoproducts.com/assets/catalogues/tech_data_sheet/en/clinoptilolite.pdf.
- Gülen, J., Zorbay, F., Arslan Yıldız Teknik Üniversitesi, S., Fakültesi, K.-M., Mühendisliği Bölümü, K., (2012). Zeolitler ve Kullanım Alanları. vol. 2.
- Kaplan, G., Öztürk, A.U., Uğur Kaplan A.B. (2020). Çimento ve Uçucu Kül Bünyesindeki Ağır Metallerin Etkilerinin Hidratasyon ve Çevre Sağlığı Açısından İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(1), 305-313
- Komisyonu., (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri II (Mika-Zeolit-Lületaşı) Çalışma Grubu Raporu.
- M. I. Abdul Aleem, P.D.A., 2012. geopolymer concrete a review 1(2): 20–6, Doi: 10.7323/ijeset/v1.
- Nikolov, A., Nugteren, H., Rostovsky, I., (2020). Optimization of geopolymers based on natural zeolite clinoptilolite by calcination and use of aluminate activators. Construction and Building Materials 243: 118257, Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118257.
- Nikolov, A., Rostovsky, I., Nugteren, H., 2017. Geopolymer materials based on natural zeolite. Case Studies in Construction Materials 6: 198–205, Doi: 10.1016/j.cscm.2017.03.001.
- Ortega, E.A., Cheeseman, C., Knight, J., Loizidou, M., 2000. Properties of alkali-activated clinoptilolite. Cement and Concrete Research 30(10): 1641–6, Doi: 10.1016/S0008-8846(00)00331-8.
- Palomo, A., Grutzeck, M.W., Blanco, M.T., 1999. Alkali-activated fly ashes. Cement and Concrete Research 29(8): 1323–9, Doi: 10.1016/S0008-8846(98)00243-9.
- Panagiotopoulou, C., Kontori, E., Perraki, T., Kakali, G., (2007). Dissolution of aluminosilicate minerals and by-products in alkaline media. Journal of Materials Science 42(9): 2967–73, Doi: 10.1007/s10853-006-0531-8.
- Rangan, B.V., 2008. Studies on fly ash-based geopolymer concrete. Malaysian Construction Research Journal 3(2): 1–20.
- Robina Kouser Tabassum, I., Khadwal, A., 2015. A Brief Review on Geopolymer Concrete. International Journal of Advanced Research in Education Technology (IJARET) 2(3): 70–3.
- Shaikh, F.U.A., (2016). Mechanical and durability properties of fly ash geopolymer concrete containing recycled coarse aggregates. International Journal of Sustainable Built Environment 5(2): 277–87, Doi: 10.1016/j.ijsbe.2016.05.009.
- Singh, N.B., (2018). Fly ash-based geopolymer binder: A future construction material. Minerals 8(7), Doi: 10.3390/min8070299.
- Tekin, I., Gencel, O., Gholampour, A., Oren, O. H., Koksall, F., & Ozbakkaloglu, T. (2020). Recycling zeolitic tuff and marble waste in the production of eco-friendly geopolymer concretes. Journal of Cleaner Production, 122298.
- Terzi, S , Büyükdoğaç, E . (2018). Evaluation of Zeolite And Pumice Waste as Mineral Aggregate and Filler for Producing Lightweight Asphalt Concrete Mixtures . Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi , 6 (1) , 118-123 . DOI: 10.21923/jesd.311826
- Türk Standartları Enstitüsü., n.d. TS EN 1015-11 (2020). Kagir harcı - Deney metotları - Bölüm 11: Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini, n.d.
- Türk Standartları Enstitüsü., n.d. TS EN 12390-3 ,(2020). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayin, n.d.
- Villa, C., Pecina, E.T., Torres, R., Gómez, L., (2010). Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite. Construction and Building Materials 24(11): 2084–90, Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.04.052.
- Yılmaz, H , Sallı Bideci, Ö , Bideci, A . (2018). Pomza Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Kalsiyum Alüminat Çimentosunun Etkisi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi , 6 (1) , 154-160 . DOI: 10.21923/jesd.400770
- Zeolyst International., (2020). Zeolite FAQ's. <https://www.zeolyst.com/about-us/faqs.html>. [accessed February 28, 2020].



MOTOR YÜKÜNE BAĞLI OLARAK BİYODİZEL YAKITLI BİR DİZEL MOTORUN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

İbrahim YILDIZ¹, Hakan ÇALIŞKAN^{2*}

¹ Uşak Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Uşak, Türkiye

² Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Uşak, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Biyodizel, Dizel Motor, Motor Egzoz Emisyonu, Enerji Analizi, Ekserji Analizi.</i>	Bu çalışmada, %100 biyodizel yakıtlı dört silindirli bir dizel motor 100 Nm ve tam yükte (294 Nm) deneysel olarak incelenmiştir. Sisteme enerji ve ekserji analizleri uygulanarak sonuçlar termodinamik açıdan detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Havanın, yakıtın, egzoz gazlarının ve net gücün enerji ve ekserji değerlerinin motor tork artışı ile birlikte arttığı görülmüştür. Tork artışı ile motorun enerji ve ekserji kayıplarının da artarak sistemi olumsuz etkilediği değerlendirilmiştir. 294 Nm'de çalışan motorda biyodizel yakıtının enerji değeri 124,723 kW, ekserji değeri ise 134,09 kW olarak hesaplanmıştır. Dizel motorun 294 Nm yükte enerji kaybı 94,247 kW olarak bulunurken, ekserji kaybı 15,750 kW olarak belirlenmiştir. Motor torkunun artmasıyla sistemin verimi artmıştır ve 294 Nm yükte motorun enerji verimi %33,397 iken, ekserji verimi ise %37,39 olarak hesaplanmıştır.

ASSESSMENT OF THE ENERGY AND EXERGY ANALYSES RESULTS OF A BIODIESEL FUELED ENGINE DEPENDING ON THE ENGINE LOAD

Keywords	Abstract
<i>Biodiesel, Diesel Engine, Engine Exhaust Emission, Energy Analysis, Exergy Analysis.</i>	In this study, a four-cylinder diesel engine with %100 biodiesel fuel is investigated at 100Nm and full load. The results are assessed in detail with thermodynamic aspect by applying energy and exergy analyses to the system. It is seen that the energy and exergy rates of air, fuel, exhaust gases and net power increases with engine torque. It is also assessed that the increase in the energy and exergy losses of the engine with increase in torque affects the system negatively. At full load, the biodiesel fuel energy rate is calculated as 124,723, while its exergy rate is 134,09 kW. The energy loss rate of the diesel engine at full load is found as 94,247 kW, its exergy loss is determined as 15,750 kW. The system efficiency is increased with the engine torque, and energy efficiency of the engine at full load is 33,397% while exergy efficiency is calculated as 37,39%.

Alıntı / Cite

Yıldız, İ., Çalışkan, H., (2020). Motor Yüküne Bağlı Olarak Biyodizel Yakıtlı Bir Dizel Motorun Enerji ve Ekserji Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 833-843.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

İ. Yıldız, 0000-0002-1103-2951

H. Çalışkan, 0000-0002-6571-0965

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 30.07.2020

Revizyon Tarihi / Revision Date 25.08.2020

Kabul Tarihi / Accepted Date 10.09.2020

Yayın Tarihi / Published Date 24.09.2020

1. Giriş (Introduction)

Küresel çevresel durumu irdelendiğinde, trafikte bulunan araçların sebep olduğu emisyonların %30'unu azot oksitler (NO_x), %10'unu partikül maddeler (PM), %54'ünü karbon monoksit (CO), %14'ünü karbon dioksit (CO₂) ve %47'sini metan olmayan hidrokarbonlar (NMHC) oluşturmaktadır. Emisyonların insan sağlığına doğrudan ve dolaylı olarak etkileri vardır. Doğrudan etkileri arasında astım, yüksek tansiyon, diyabet gibi birçok sağlık

* İlgili yazar / Corresponding author: hakan.caliskan@usak.edu.tr, +90-276-221-2121

sorunları bulunmaktadır. Dolaylı olarak da sera gazlarının ve küresel ısınmanın artmasıyla insan yaşamı ve sağlığını olumsuz etkilemektedir (Requia vd., 2018; Sokhi, 2011).

Ulaşım sektöründe tüketilen enerji kaynaklarının en başında günümüzde de hala kullanılmakta olan fosil yakıtlar gelmektedir. Fosil yakıtlar yenilenemez enerji kaynaklarıdır ve içten yanmalı motorların emisyonlarının kontrol edilmesindeki zorluklardan dolayı da, alternatif yakıtların kullanımı önem kazanmaktadır. Bu bağlamda alternatif yakıtlardan olan biyoyakıtların (biyodizel) kullanımı motor egzoz emisyon değerlerinin kontrolü ve daha yaşanabilir bir çevre adına önemli bir seçenektir (Mirbagheri vd., 2020; Zhou vd., 2019; Reitz vd., 2015).

İçten yanmalı dizel motorlar, otomotiv sektörü içinde önemli bir yere sahiptir. Çevre açısından incelendiğinde dizel motorlar, partikül madde, azot oksitler, karbon dioksitler, hidrokarbonlar, kükürt oksitler vb. gibi zararlı egzoz emisyonlarına sebep olan fosil yakıtları yakarak çevreyi kirletir. Fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılmakta olan biyodizel yakıtının oksijen oranı bazı fosil yakıtlardan (örneğin; dizel yakıtı) daha yüksek olabilmektedir. Bu durum dizel motorundaki yakıtın yanma sürecini de olumlu etkilemektedir (Çalışkan ve Mori, 2017; Aliyy vd., 2011). Ayrıca, yanmamış hidrokarbon (HC) ve CO gibi egzoz gazları açısından daha düşük egzoz emisyonlarına sahiptirler. Dizel motorların duman yoğunluğu, PM ve NO_x emisyonları yüksektir. Bu durum teknik açıdan yakıt tercihi konusunda da araştırmacıları yeni çalışmalara yönlendirmektedir (Çalışkan ve Mori, 2017b; Chandrasekaran vd., 2016; Venkanna ve Venkataramana Reddy, 2012).

Araç teknolojisinin geleceği her geçen gün ortaya çıkan yeni gelişmelerle değişmekle birlikte, dizel motorların yakın gelecekte de kullanımda olmaya devam edeceği ön görülebilir bir durumdur. Biyodizel yakıtların kullanılması durumu, egzoz emisyonlarının azaltılması ve daha iyi yakıt ekonomisi açısından bir avantaj olabileceğinden, detaylı olarak analiz edilmesi gerekmektedir. Motorların özelliklerini birçok yönden analiz edebilmek için termodinamik analiz yöntemi kullanılmaktadır. Termodinamiğin birinci yasasını içeren enerji analizinin yanı sıra, ikinci yasayı içeren ekserji analizi de içten yanmalı motorların daha detaylı incelenmesi için uygulanır (Çalışkan ve Mori, 2017b; Çalışkan vd., 2010a; Çalışkan vd., 2010b).

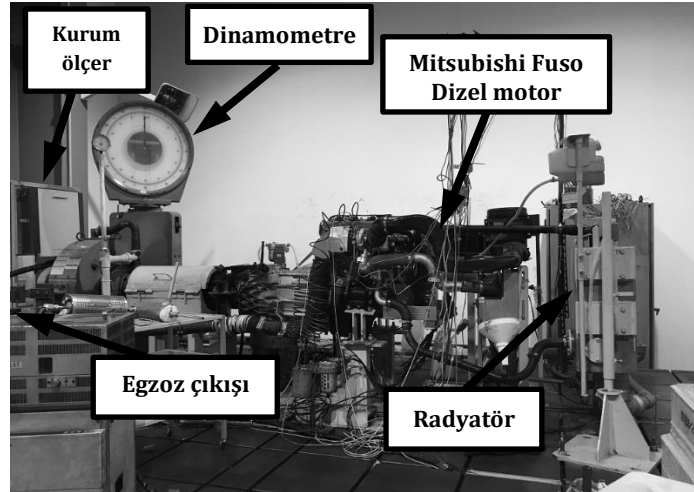
Jannatkah vd. (2020), yakıt olarak farklı biyodizel yakıtının kullanıldığı bir dizel motoruna ORC-ERC sistemi dâhilinde enerji ve ekserji analizleri uygulamıştır. Biyodizel yakıtın kullanıldığı bu çalışmada, motorun sistem performansını enerjetik ve ekserjetik açıdan değerlendirmek için farklı motor yüklerinde ve devir sayılarında testler yapılmıştır. Motor maksimum yükte yüklendiğinde ve 2400 dev/dak'da iken B30 kanola yağı içerikli biyodizel için maksimum enerji verimi elde edilmiştir. Maksimum ekserji verimi ise %53,95 içerikli kanola dizel yakıtı için %100 motor yükünde ve 1700 dev/dak'da bulunmuştur. Başka bir çalışmada (Das vd., 2020), tek silindirli bir dizel motorunun enerji, ekserji ve emisyon analizi pirolitik atık plastik yağ dizel karışımı kullanılarak değerlendirilmiştir. CO emisyonu oranı, farklı bir yakıt kullanıldığında %25 yükte %0,08 olarak hesaplanırken, dizel yakıtı kullanıldığında ve motor %100 motor yükü yüklendiğinde %0,058'e düşmüştür. HC emisyonları incelendiğinde, yüksek torkta daha yüksek miktarda yakıt girişi olacağından yanmamış hidrokarbon oranında artış görülmüştür. Motor %100 yük ile çalıştırıldığında NO_x emisyonlarında yaklaşık %400 gibi ciddi bir artış elde edilmiştir. Ekici ve Şöhret (2020), uçaklardan kaynaklı egzoz emisyonlarının çevresel ve ekonomik açıdan incelenmesi hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, çevresel etkiler değerlendirilirken karbon ayak izi metodu uygulanmıştır. Karbon ayak izi sonuçlarına göre, emisyonların çevreye olan etkisi uçak kalkış sayısının maksimum olduğu ayda zirve değere ulaşmıştır. Toplam karbon ayak izi içeriğinde, NO_x oranı %61,82, CO oranı %0,07, CO₂ oranı %37,89 ve HC oranı %0,20 olarak hesaplanmıştır. Liu vd. (2020), bir turboşarjlı dizel motorda enerji ve ekserji değerlendirmeleri yapmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, düşük motor yükünde daha düşük verimlilik hesaplanırken motor torkunun artmasıyla birlikte verimlilikte de artış görülmüştür. Egzoz enerji ve ekserji değerleri dikkate alındığında, motor devri ve yükü ile doğru orantılı olarak değişim elde edilmiştir. Egzoz enerjisinde yüzdesel olarak yaklaşık %28-%42 gibi bir değişim bulunurken, egzoz ekserjisindeki değişim yaklaşık olarak %6-%17 arasındadır. Enerji ve ekserji kayıplarındaki değişim, motor devri ve yüküyle ters orantılı olarak değişmiştir.

Bu çalışmada, %100 biyodizel yakıtlı 4 silindirli bir dizel motoru test edilmiş, egzoz emisyon değerleri incelenmiş, 100 Nm ve tam yükte (294 Nm) egzoz gazlarının (NO_x, CO, CO₂, HC) emisyon değerlerini karşılaştırılmış, ve motora enerji ve ekserji analizleri uygulanarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Mevcut çalışmanın enerji ve ekserji esaslı analizler sonucunda biyodizel yakıtı kullanılan dizel motorunun motor yüküne bağlı olarak egzoz emisyonlarındaki değişiminin değerlendirilmesiyle gelecek çalışmalar adına literatüre katkı sağlayacağı yazarlar tarafından öngörülmektedir.

2. Sistem Açıklaması (System Description)

Sistemin temelinde %100 biyodizel yakıtıyla çalışan bir dizel motordur. Bu çalışmada kullanılan Common Rail Enjeksiyon Sistemi (CRS) içeren 4 silindirli, 3L, turbo şarjlı, ek soğutuculu (radyatörlü) Mitsubishi Fuso dizel

motorunun maksimum gücü 96 kW (130PS)/3200 dev/dak (devir/dakika) maksimum torku ise 294 Nm/ 1800 dev/dak'dır. Egzoz gazları ile ilgili veriler egzoz ölçüm cihazları kullanılarak toplanmıştır. Mevcut çalışmada yakıt olarak, atık yemek yağlarından elde edilmiş %100 biyodizel yakıtı kullanılmıştır. Sistemin genel görünüşü Şekil 1'de gösterilmiştir. Biyodizel yakıtının özellikleri ise Tablo 1'de verilmiştir (Yıldız, 2018).



Şekil 1. Dizel motor test sisteminin genel görünüşü (General view of diesel engine test system)

Tablo 1. Biyodizel yakıtının özellikleri (Specification of the biodiesel fuel) (Yıldız, 2018)

Yoğunluk (kg/m ³)	882
Kinematik viskozite (mm ² /s)	6,270
Parlama noktası (°C)	180
Asit değeri (mgKOH/g)	0,1495
Bulutlanma noktası (°C)	6
Akma derecesi (°C)	-7

Motorun egzoz gazı ölçümünde; HC, CO, CO₂, O₂, NO_x gazlarını ölçen Horiba Mexa-9100F egzoz emisyon analizörü, egzozdaki kurum içeriğini değerlendirmek için AVL 415S model filtre tipi kurum ölçer (smoke meter), partikül madde (PM) ve HC emisyonlarını ölçmek için Horiba alev iyonizasyon analizörü, egzoz emisyonundaki nano-partiküllerin boyutunu ve sayısını ölçmek için TSI Model 3938 Tarama Hareketliliği Parçacık Boyutlandırıcı (SMPS) ekipmanları kullanılmıştır.

Motorun soğutma suyu sıcaklığı 80°C'de sabitlenerek ve motorun devir sayısı 1800 dev/dak'ya ayarlanarak test başlatılmıştır. Dizel motor, 100 Nm ve 294 Nm motor torkuyla yüklenerek beş defa deneysel olarak test edilmiştir. Ardından sisteme enerji ve ekserji analizleri uygulanmıştır (Çalışkan ve Mori, 2017b). Sistemden elde edilen veriler Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca, deneysel test sonuçları Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 2. Sistem verileri (Data of the system) (Yıldız, 2018)

Tork	\dot{m}_{fuel} (kg/s)	\dot{m}_{air} (kg/s)	\dot{m}_{CO} (kg/s)	\dot{m}_{CO_2} (kg/s)	\dot{m}_{NO_x} (kg/s)	\dot{m}_{HC} (kg/s)	P_{exh} (bar)	$T_{air,in}$ (°C)	T_{exh} (°C)
100 Nm	1,415·10 ⁻³	32,793·10 ⁻³	3,5285·10 ⁻⁶	4452,0832·10 ⁻⁶	16,3697·10 ⁻⁶	0,3268·10 ⁻⁶	27,993·10 ⁻³	24,90	294,20
294 Nm	3,312·10 ⁻³	63,981·10 ⁻³	2,2695·10 ⁻⁶	10432,3911·10 ⁻⁶	86,4713·10 ⁻⁶	0,2281·10 ⁻⁶	66,650·10 ⁻³	25,60	364,80

Tablo 3. Deneysel test sonuçları (The experimental test results) (Yıldız, 2018)

Tork	Alt Isıl Değer (kJ/kg)	Egzoz emisyonu (g/kWh)				Kurum miktarı (mg/m ³)
		CO	HC	NO _x	CO ₂	
100 Nm	37655,88	0,6862	0,0635	3,1833	865,7768	0,880
294 Nm	37655,88	0,1629	0,0164	6,2058	748,7056	0,270

3. Analiz (Analysis)

3.1. Enerji Analizi (Energy Analysis)

Sistemin enerji denge denklemi aşağıdaki gibidir (Caliskan ve Mori, 2017a);

$$\sum \dot{E}n_{in} = \sum \dot{E}n_{out} \quad (1)$$

Bu formülde $\sum \dot{E}n_{in}$ sistemin toplam enerji girdisini ve $\sum \dot{E}n_{out}$ sistemin toplam enerji çıktısını ifade etmektedir. Enerji denge denklemi sisteme giren ve çıkan parametreler ele alındığında (Caliskan ve Mori, 2017a),

$$\dot{E}n_{air} + \dot{E}n_{fuel} = \dot{E}n_W + \dot{E}n_{exh} + \dot{E}n_{loss} \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denge denkleminde, $\dot{E}n_{air}$ havanın enerjisini, $\dot{E}n_{fuel}$ yakıtın enerjisini, $\dot{E}n_W$ üretilen net güç, $\dot{E}n_{exh}$ egzoz enerjisini ve $\dot{E}n_{loss}$ sistemin enerji kaybını ifade etmektedir.

Havanın enerjisi ($\dot{E}n_{air}$) aşağıdaki gibi hesaplanır (Caliskan ve Mori, 2017b).

$$\dot{E}n_{air} = \dot{m}_{air} h_{air} = \rho_{air} \dot{V}_{air} h_{air} \quad (3)$$

Bu denklemde; kütle akışı \dot{m} ile (kg/s), entalpi h ile (kJ/kg), yoğunluk ρ ile (g/L), hacimsel debi \dot{V} ile (m³/s) gösterilmiştir. *air* alt indisi, bu değerlerin hava için olduğunu belirtmektedir. Havanın yoğunluğu yaklaşık olarak 1,17 g/L'dir (Çalışkan ve Mori, 2017b).

Yakıtın enerji değeri ($\dot{E}n_{fuel}$), yakıtın kütleli debisi (\dot{m}_{fuel}) ile alt ısıl değerinin (H_u) çarpımına eşittir (Caliskan ve Mori, 2017b).

$$\dot{E}n_{fuel} = \dot{m}_{fuel} H_u \quad (4)$$

Yakıtın alt ısıl değeri (H_u) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$H_u = \frac{H_{u,density} + H_{u,viscosity}}{2} \quad (5)$$

$H_{u,density}$ ve $H_{u,viscosity}$ değerleri (kJ/kg) yakıtın yoğunluğu (ρ_{fuel}) ve kinematik viskozitesi (μ_{fuel}) kullanılarak aşağıdaki denklemlerden bulunur (Tesfa vd., 2013).

$$H_{u,density} = [(-0.167)\rho_{fuel} + 184.95]10^3 \quad (6)$$

$$H_{u,viscosity} = [(-12.88)\ln(\mu_{fuel}) + 61.3]10^3 \quad (7)$$

Sistemin ürettiği net güç ($\dot{E}n_W$) aşağıdaki gibi hesaplanabilir. Burada, ω açısal hızı ve T motor torkunu ifade etmektedir. Motorun devir sayısı "1800 dev/dak" olarak alınmıştır (Caliskan ve Mori, 2017a).

$$\dot{E}n_W = \omega T \quad (8)$$

Egzoz enerjisi ($\dot{E}n_{exh}$) aşağıdaki gibi, her bir egzoz gazı bileşeninin kütleli debisi (\dot{m}) ve entalpisi (h) yardımıyla hesaplanır (Caliskan ve Mori, 2017a).

$$\dot{E}n_{exh} = \dot{m}_{CO}h_{CO} + \dot{m}_{NO_x}h_{NO_x} + \dot{m}_{CO_2}h_{CO_2} + \dot{m}_{HC}h_{HC} \quad (9)$$

Sistemin enerji kayıpları, enerji dengesi dikkate alınarak şu şekilde hesaplanır (Caliskan ve Mori, 2017b):

$$\dot{E}n_{loss} = \dot{E}n_{air} + \dot{E}n_{fuel} - \dot{E}n_W - \dot{E}n_{exh} \quad (10)$$

Sistemin enerji verimliliği (η) ise sistemin net güç çıktısının yakıt enerjisine oranı ile elde edilir (Caliskan ve Mori, 2017a).

$$\eta = \left(\frac{\dot{E}n_W}{\dot{E}n_{fuel}} \right) 100 \quad (11)$$

3.2. Ekserji Analizi (Exergy Analysis)

Ekserji denge denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

$$\sum \dot{E}x_{in} = \sum \dot{E}x_{out} + \dot{E}x_{dest} \quad (12)$$

Denge denklemi sistem girdi ve çıktıları esas alınarak açık şekilde yazılırsa aşağıdaki ifade elde edilir (Caliskan ve Mori, 2017a).

$$\dot{E}x_{air} + \dot{E}x_{fuel} = \dot{E}x_W + \dot{E}x_{exh} + \dot{E}x_{loss} + \dot{E}x_{dest} \quad (13)$$

Havanın ekserjisi aşağıdaki gibi hesaplanır (Çalışkan ve Mori, 2017a).

$$\dot{E}x_{air} = \dot{m}_{air} c_{p,air,in} \left[(T_{air,in} - T_0) - T_0 \ln \left(\frac{T_{air,in}}{T_0} \right) \right] \quad (12)$$

Burada, $C_{p,air,in}$ sisteme giren havanın özgül ısı kapasitesini, $T_{air,in}$ giren havanın sıcaklığını, T_0 ortam sıcaklığını (referans-ölü durum sıcaklığını) belirtmektedir (21°C).

Yakıtın ekserjisi ($\dot{E}x_{fuel}$) aşağıdaki eşitlikle bulunur (Caliskan ve Mori, 2017a);

$$\dot{E}x_{fuel} = \dot{m}_{fuel} H_u \varepsilon_{fuel} \quad (13)$$

Yakıtın hidrojen, oksijen, karbon ve kükürt kütle oranlarının sırasıyla H , C , O , α olarak ifade edildiği yakıtın kimyasal ekserji faktörü (ε_{fuel}) formülü şu şekildedir (Caliskan ve Mori, 2017a);

$$\varepsilon_{fuel} = (1.0401) + (0.1728) \frac{H}{C} + (0.0432) \frac{O}{C} + (0.2169) \frac{\alpha}{C} \left[1 - (2.0628) \frac{H}{C} \right] \quad (14)$$

Kotas (1985)'e göre, biyodizel yakıtlar için ε_{fuel} değeri 1.04 ile 1.08 arasında alınabilmektedir. Bu bağlamda biyodizelin ε_{fuel} değeri 1.0751 olarak kabul edilmiştir (Çalışkan ve Mori, 2017a).

Ekserjetik net güç ($\dot{E}x_W$), enerjetik net güce eşittir.

$$\dot{E}x_W = \dot{E}n_W \quad (15)$$

Sistemin egzoz ekserjisi ($\dot{E}x_{exh}$) aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\dot{E}x_{exh} = \sum_{i=1}^n \dot{m}_i (ex_{tm,i} + ex_{ch,i}) \quad (16)$$

i . egzoz gazı bileşeninin özgül fiziksel ($ex_{tm,i}$) ve özgül kimyasal ($ex_{ch,i}$) ekserjisi (kJ/kg) aşağıdaki gibi hesaplanabilir. s değeri entropiyi, T_{exh} değeri ise motorun egzoz sıcaklığını ifade etmektedir.

$$ex_{tm,i} = [(h_i - h_0) - T_0 (s_i - s_0)] = c_{p,i} \left[(T_{exh} - T_0) - T_0 \ln \left(\frac{T_{exh}}{T_0} \right) \right] \quad (17)$$

$$ex_{ch,i} = \bar{R} T_0 \ln \left(\frac{y_i}{y_{env,i}} \right) \quad (18)$$

Burada \bar{R} genel gaz sabitini, $y_{env,i}$ çevre ortamındaki i . egzoz gazı bileşeninin ve y_i egzoz gazlarındaki i . egzoz gazı bileşeninin mol kesrini belirtmektedir (Çalışkan ve Mori, 2017b).

Tablo 4. Egzoz gazında ve çevrede yer alan egzoz gazı bileşenlerinin molar değerleri (Molar values of exhaust gas components in exhaust gas and environment) (*Ntziachristosa vd., 2005)

Egzoz gazları	y_i değerleri (%)	
	100 Nm	294 Nm
CO	0,0116	0,0039
NO _x	0,0328	0,0895
HC	0,0022	0,0008
CO ₂	9,3580	11,3440
Referans gazlar	$y_{env,i}$ değerleri (%)*	
N ₂	75,6700	
O ₂	20,3500	
CO ₂	0,03450	
H ₂ O	3,03000	
CO	0,00070	
SO ₂	0,00020	
H ₂	0,00005	
Diğer gazlar	0,91455	

Sistemin ekserji kayıpları; enerji kayıpları, referans sıcaklık (T_0) ve motor soğutma suyu (T_{cw}) sıcaklığıyla ilişkilidir (Çalışkan ve Mori, 2017b).

$$\dot{E}x_{loss} = \dot{E}n_{loss} \left(1 - \frac{T_0}{T_{cw}} \right) \quad (19)$$

Ekserji denge denkleminde sistemin ekserji yıkımı ($\dot{E}x_{dest}$) çekilebilir.

$$\dot{E}x_{dest} = \dot{E}x_{air} + \dot{E}x_{fuel} - \dot{E}x_W - \dot{E}x_{exh} - \dot{E}x_{loss} \quad (20)$$

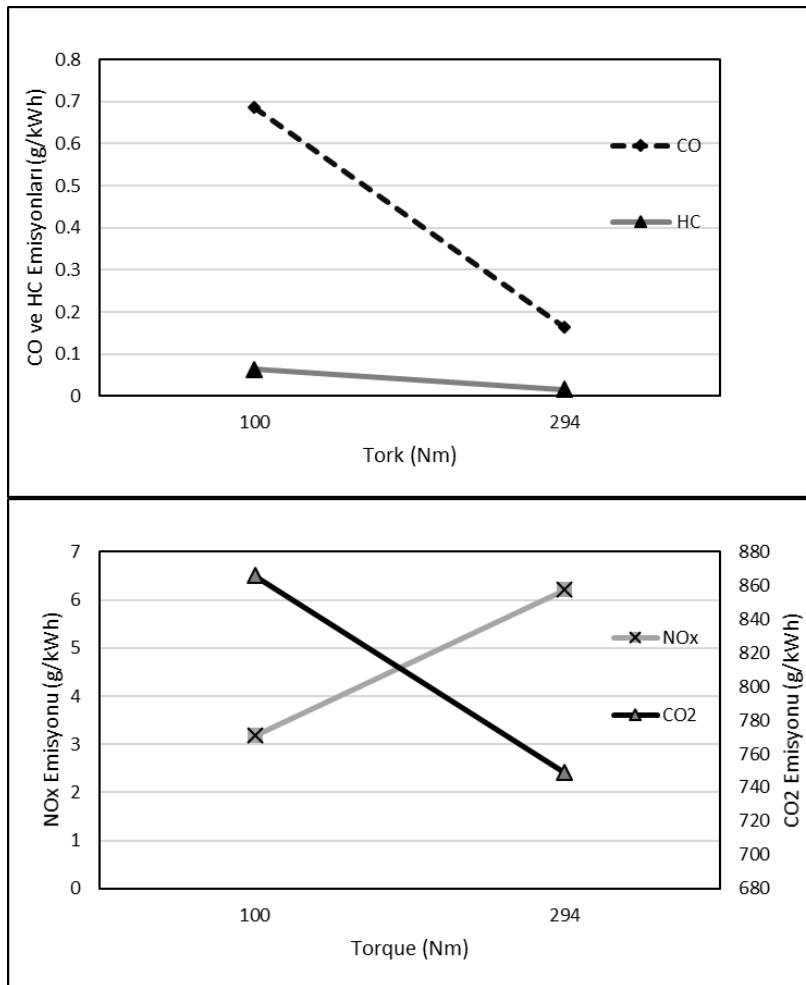
Ayrıca, sistemin ekserji verimliliği (ψ) aşağıdaki gibi bulunur (Çalışkan ve Mori, 2017b).

$$\psi = \left(\frac{\dot{E}x_w}{\dot{E}x_{fuel}} \right) 100 \quad (21)$$

4. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Dizel motor, biyodizel yakıt kullanılarak 100 Nm ve 294 Nm motor yükü altında beş defa test edilmiş ve değerlendirme için ortalama değerler esas alınmıştır. Daha sonra bu deneysel analiz verilerine enerji ve ekserji analizleri uygulanmak suretiyle motor sistemi ve emisyon değerleri detaylı olarak incelenmiştir.

Biyodizel yakıtın dize motorda kullanımı sonucu egzoz emisyonları irdelendiğinde, 294 Nm yükteki CO emisyonu değeri 100 Nm motor yükündeki CO emisyonu değerinden daha düşüktür. Dolayısıyla torkun artması CO emisyonunu olumlu yönde etkilemiştir. Benzer şekilde HC emisyonu oranı dikkate alındığında, motor 294 Nm tork ile çalıştırıldığında elde edilen HC emisyonu, 100 Nm torktaki değerinden daha düşük bulunmuştur. Ancak, dizel motorunu 100 Nm motor yükünde çalıştırmak daha düşük NO_x emisyonu sağlamıştır. Bu bağlamda motor yükündeki artış, egzoz emisyonunda yer alan NO_x gazlarının değerinin yaklaşık 2 katı değerine ulaşmasına sebep olmuştur. Diğer egzoz gazlarına kıyasla, CO₂ emisyon değerinin tüm yüklerde yüksek değerinde olduğu görülmüştür. CO₂ emisyonu değerleri ele alındığında, motor yükünün artması CO₂ emisyonunun azalmasını sağlamıştır. Egzoz emisyon gazlarının kıyaslanması Şekil 2.'de gösterilmiştir.



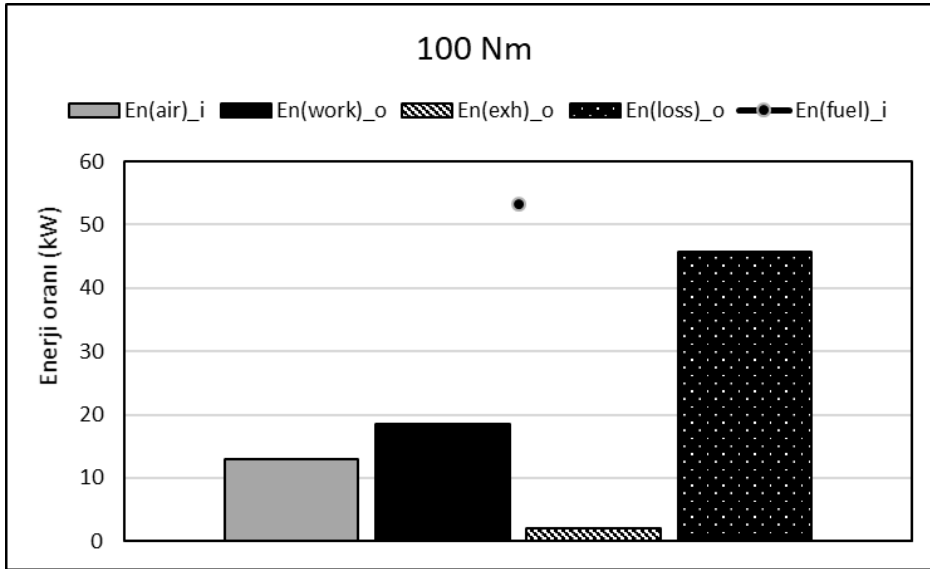
Şekil 2. Egzoz gazlarının kıyaslanması (Comparison of exhaust gases) (Yıldız, 2018)

Enerji analizi sonuçları incelendiğinde, motor yükü arttığında havanın enerjisinde de artış görülmüştür. Biyodizel yakıtının enerjisi 100 Nm'de 53,268 kW olarak bulunurken, 294 Nm'de 124,723 kW olarak hesaplanmıştır. Çünkü, yakıt enerjisi motor torku ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Sistemin net gücü motor torkunun artmasıyla birlikte 18,504 kW değerinden 50,137 kW değerine yükselmiştir. Bu sonuca göre motor torkunun artması, sistemden elde edilen net gücün artmasını sağlamıştır. Sistemin egzoz enerjisi 100 Nm'de 2,104 kW iken, 294 Nm'de 5,739 kW olarak bulunmuştur. Enerji analizinde üzerinde durulması gereken kısımlar; verimlilikler ve ısı

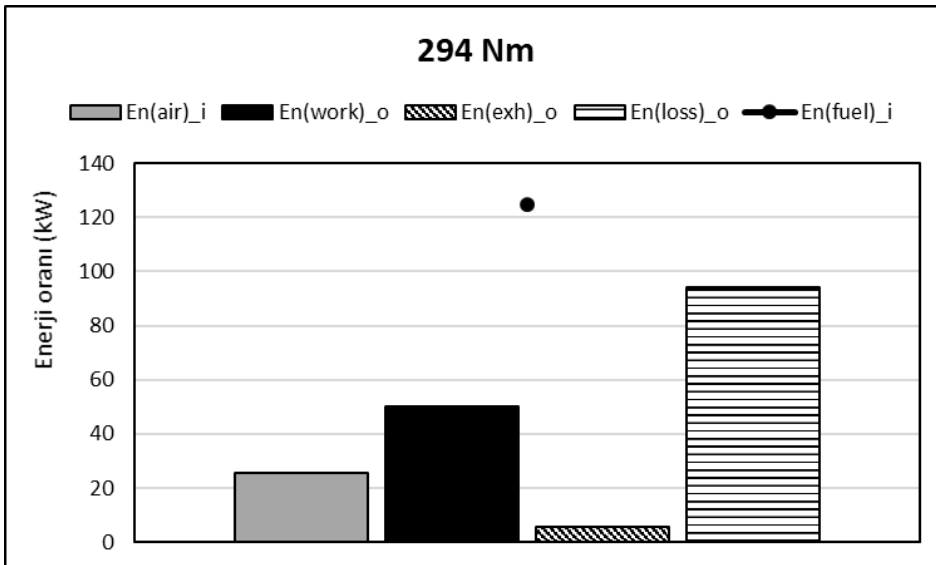
kayıbı & egzoz çıkışı gibi kayıplardır (Çalışkan ve Mori, 2017a). Motor torkunun artması enerji analizi sonuçlarını genel olarak olumlu etkilemiş olsa da, sistemdeki enerji kayıplarının artmasına sebep olmuştur. Dizel motor 100 Nm ile yüklendiğinde sistemin enerji kaybı 45,655 kW olarak hesaplanırken, 294 Nm ile yüklendiğinde 94,247 kW değerine yükselerek yaklaşık olarak 2 katına çıkmıştır. Motor torkunun artmasıyla enerji verimliliği yükselmiştir. 100 Nm’de % 27,925 olan enerji verimi, 294 Nm’de % 33,397’e ulaşmıştır. Daha fazla torkla daha fazla enerji verimliliği elde edilirken tork artışı sistem kayıplarında da artışa neden olmuştur. Gelecekteki çalışmalar için bu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Sistemin enerji analizi sonuçları Tablo 5’te sunulmuştur. 100 Nm ve 294 Nm için enerji analizi sonuçlarının karşılaştırılması ise sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir.

Tablo 5. Sistemin enerji analizi sonuçları (Energy analysis results of system) (Yıldız, 2018)

Enerji analizi sonuçları	100 Nm	294 Nm
Havanın enerjisi ($\dot{E}_{n_{air}}$) (kW)	12,996	25,401
Yakıtın enerjisi ($\dot{E}_{n_{fuel}}$) (kW)	53,268	124,723
Net güç (\dot{E}_{n_w}) (kW)	18,504	50,137
Sistemin egzoz enerjisi ($\dot{E}_{n_{exh}}$) (kW)	2,104	5,739
Enerji kayıpları ($\dot{E}_{n_{loss}}$) (kW)	45,655	94,247
Enerji verimi (η) (%)	27,925	33,397



Şekil 3. 100 Nm motor yükü için enerji analizi sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of energy analysis results for 100 Nm) (Yıldız, 2018)

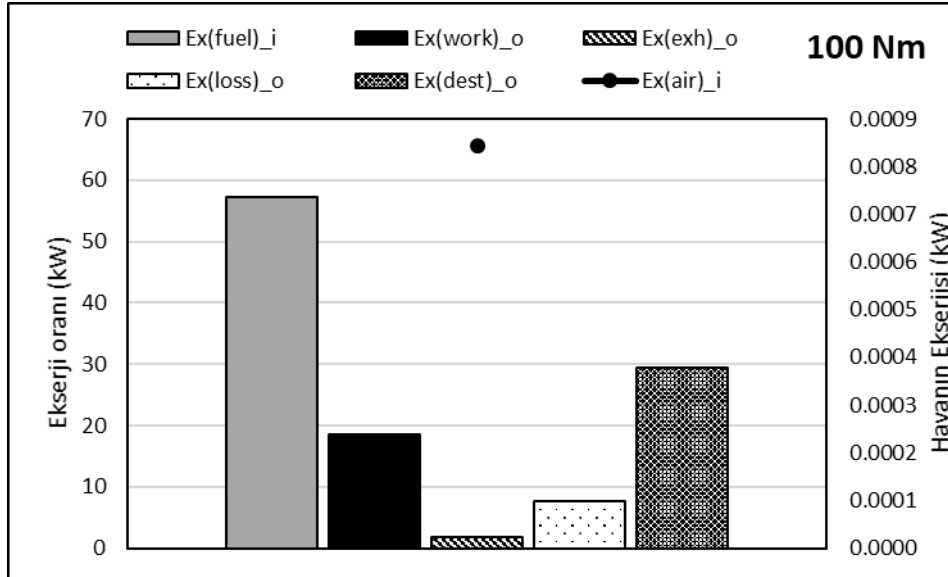


Şekil 4. 294 Nm için enerji analizi sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of energy analysis results for full load) (Yıldız, 2018)

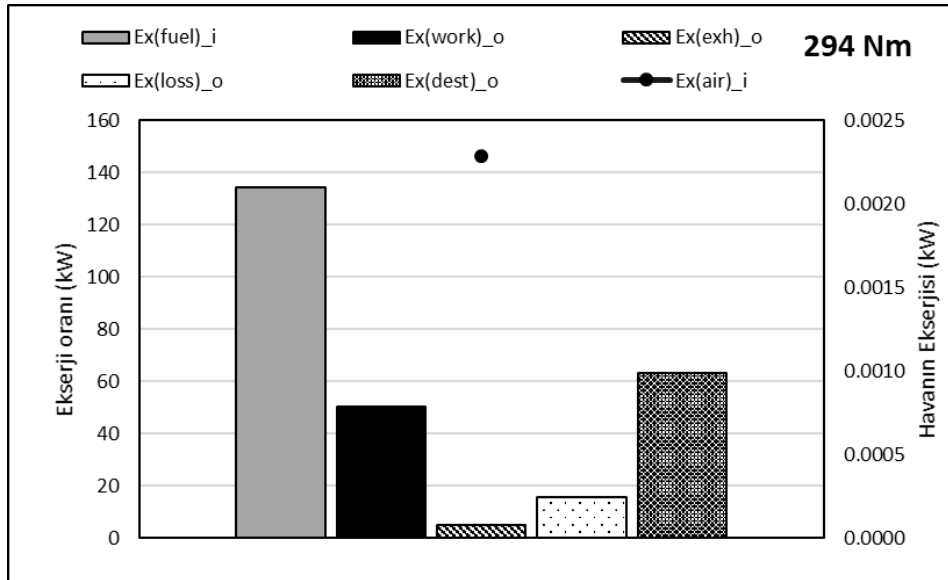
Sistem ekserji analizi değerlerine göre de incelenmiştir. 294 Nm’de havanın ekserjisi $2,288 \times 10^{-3}$ kW iken, 100 Nm’de $0,844 \times 10^{-3}$ kW olarak bulunmuştur. Yakıtın ekserjisi 100 Nm’de 57,268 kW olarak hesaplanırken, 294 Nm’de 134,090 kW olarak elde edilmiştir ve yakıtın ekserji değerinde ciddi bir artış gözlemlenmiştir. Sistemin ekserjetik net gücü enerjetik net gücüne eşittir. Sistemin egzoz ekserjisi motor yükünün artması ile birlikte 1,764 kW’den 4,875 kW’a artmıştır. Yukarıda bahsedilen ekserji analizi sonuçlarında, motor yükünün artmasıyla doğru orantılı olarak ekserji değerlerinde de artış görülmüştür. Ancak kayıplar incelendiğinde, 100 Nm’de 7,628 kW olan ekserji kayıpları, 294 Nm’de 15,750 kW olarak hesaplanmış ve motor yükündeki artışın kayıpları da artırdığı görülmüştür. Ekserji yıkımı değeri ise, 100 Nm’de 29,374 kW iken, 294 Nm’de 63,329 kW olarak hesaplanmıştır. Motor torkunun artmasıyla birlikte sistemin ekserji verimi %29,374’den %37,390’a yükselmiştir. Enerji analizindeki sonuçlarla ilintili olarak, daha fazla verim için sisteme katkı sağlayan tork artışı, kayıpların ve ekserji analizinde farklı bir terim olarak karşımıza çıkan “ekserji yıkımı”nın artmasına neden olmuştur. Araştırmacılar için gelecekteki çalışmalarda yanıtlanması gereken sorulardan birisinin “daha fazla verimlilik mi yoksa daha az kayıp mı” olacağı düşünülebilir. Sistemin ekserji analizi sonuçları Tablo 6’da gösterilmiştir. 100 Nm ve 294 Nm motor torku için ekserji analizi sonuçlarının karşılaştırılması sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Sistemin ekserji analizi sonuçları (Exergy analysis results of system) (Yıldız, 2018)

Ekserji analizi sonuçları	100 Nm	294 Nm
Havanın ekserjisi ($\dot{E}x_{air}$) (kW)	$0,844 \times 10^{-3}$	$2,288 \times 10^{-3}$
Yakıtın ekserjisi ($\dot{E}x_{fuel}$) (kW)	57,268	134,090
Net güç ($\dot{E}x_w$) (kW)	18,504	50,137
Sistemin egzoz ekserjisi ($\dot{E}x_{exh}$) (kW)	1,764	4,875
Ekserji kayıpları ($\dot{E}x_{loss}$) (kW)	7,628	15,750
Ekserji yıkımı ($\dot{E}x_{dest}$) (kW)	29,374	63,329
Ekserji verimliliği (ψ) (%)	32,311	37,390



Şekil 5. 100 Nm motor yükü için ekserji analizi sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of exergy analysis results for 100 Nm) (Yıldız, 2018)



Şekil 6. 294 Nm için ekserji analizi sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of exergy analysis results for full load) (Yıldız, 2018)

Mevcut çalışma ile literatürde yer almakta olan bazı benzer çalışmaların sonuçları karşılaştırılmıştır. Ghadikolaei vd. (2019) motor yükünün dizel motorun performansına ve emisyonlarına etkisini incelemiştir. Maksimum torku 285 Nm/1800 rpm olan bir dizel motoru, %50 motor yüküyle çalıştırıldığında yaklaşık olarak 1,190 g/kWh CO emisyonu elde edilirken, %100 motor yükünde çalıştırıldığında ise yaklaşık 1,541 g/kWh CO emisyonu meydana gelmiştir. CO₂ emisyonu olarak motor yükünün artmasıyla 871,564 g/kWh olan CO₂ emisyonu değeri 879,339 g/kWh'ya yükselmiştir. Bu durumun aksine, dizel motorunun yüksek torkta çalıştırılması, HC emisyonu değerlerini düşürmüştür. Çalışkan ve Mori (2017a)'nin çalışmasında, farklı içeriklerle hazırlanan biyodizel yakıtları kullanılarak bir dizel motoru 100 Nm, 200 Nm ve 294 Nm motor yükleri altında deneysel olarak test edilip deneysel sonuçlara enerji ve ekserji analizleri uygulanmıştır. %100 içerikli biyodizel yakıtı için 100 Nm'de 27,42 kW enerji verimliliği elde edilirken, 294 Nm'de 33,39 kW enerji verimi hesaplanmıştır. Enerji veriminin yanı sıra, ekserji verimi için de 294 Nm'de daha yüksek verimlilik elde edilmiştir. Mevcut çalışmada, yukarıda sonuçlarından bahsedilmiş olan benzer literatür çalışmalarında olduğu gibi 294 Nm'de yani maksimum torkta CO ve CO₂ emisyonu değeri yükselirken, HC emisyonunun azaldığı tespit edilmiştir. Enerji ve ekserji verimliliği sonuçları incelendiğinde de maksimum torkta daha yüksek verimlilik elde edilmiştir.

5. Değerlendirme (Conclusion)

Bu çalışmada, %100 biyodizel yakıtlı dört silindri bir dizel motor 100 Nm ve 294 Nm motor torkunda deneysel olarak incelenmiştir. Sisteme enerji ve ekserji analizleri uygulanarak sonuçlar termodinamik açıdan detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Havanın, yakıtın, egzoz gazlarının ve net gücün enerji ve ekserji değerlerinin motor tork artışı ile birlikte arttığı görülmüştür. Tork artışı ile motorun enerji ve ekserji kayıplarının da artarak sistemi olumsuz etkilediği değerlendirilmiştir. 294 Nm'de çalışan motorda biyodizel yakıtının enerji değeri 124,723 kW, ekserji değeri ise 134,09 kW olarak hesaplanmıştır. Dizel motorun 294 Nm'de enerji kaybı 94,247 kW olarak bulunurken, ekserji kaybı 15,750 kW olarak belirlenmiştir. Motor torkunun artmasıyla sistemin verimi artmıştır ve 294 Nm'de motorun enerji verimi %33,397 iken, ekserji verimi ise %37,39 olarak hesaplanmıştır. Dizel motoru daha yüksek torkla çalıştırıldığında daha fazla enerji verimliliği elde edilirken tork artışı sistem kayıplarının da artmasına neden olmuştur. Enerji analizi ile elde edilen sonuçlar ekserji analizi sonuçlarıyla da ilişkilidir. Sistemin veriminin artırılmasına katkı sağlayan tork artışı, sistem kayıplarının ve ekserji yıkımının artmasına sebep olarak motor kullanımında "kazanç elde edilirken kayba sebep" durumunu ortaya çıkarmıştır. Gelecekteki çalışmalar adına mevcut çalışmanın deneysel, enerji ve ekserji analiz sonuçlarının göz önünde bulundurulması yarar sağlayacaktır. Farklı yakıtların kullanılmasıyla da analiz sonuçlarının karşılaştırılmasının desteklenmesi sağlanabilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Aliyy A, Shitanda D, Walker S, Agnew B, Masheiti S, Atan R, 2011. Performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with croton megalocarpus (musine). *Appl Therm Eng.* 31:36-41.
- Chandrasekaran, V., Arthanarisamy, M., Nachiappan, P., Dhanakotti, S., Moorthy, B., 2016. The role of nano additives for biodiesel and diesel blended transportation fuels. *Transport. Res. Part D: Transport Environ.* 46, 145-156.
- Çalışkan, H., Tat, M.E., Hepbasli, A., 2010a. A review on exergetic analysis and assessment of various types of engines. *Int. J. Exergy* 7 (3), 287-310.
- Çalışkan, H., Tat, M.E., Hepbasli, A., Van Gerpen, J.H., 2010b. Exergy analyses of engines fueled with biodiesel from high-oleic soybeans based on experimental values. *Int. J. Exergy* 7 (1), 20-36.
- Çalışkan, H., Mori, K., 2017a. "Environmental, enviroeconomic and enhanced thermodynamic analyses of a diesel engine with diesel oxidation catalyst (DOC) and diesel particulate filter (DPF) after treatment systems", *Energy*, 128 (2017): 128-144.
- Çalışkan, H., Mori, K., 2017b. "Thermodynamic, environmental and economic effects of diesel and biodiesel fuels on exhaust emissions and nano-particles of a diesel engine", *Transportation Research Part D*, 56 (2017): 203-221.
- Das, A. K., Hansdah, D., Mohapatra, A. K., & Panda, A. K. (2020). Energy, exergy and emission analysis on a DI single cylinder diesel engine using pyrolytic waste plastic oil diesel blend. *Journal of the Energy Institute*, 93(4), 1624-1633.
- Ekici, S., Şöhret, Y., 2020. Isparta Süleyman Demirel Havalimanında Ticari Uçuşlar Kaynaklı Egzoz Emisyonlarının Çevresel Etkileri ve Maliyet Değerlendirmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 597-604.
- Ghadikolaei M. A., Wie, L., Cheung C.S., Yung, K-F. (2019). "Effects of engine load and biodiesel content on performance and regulated and unregulated emissions of a diesel engine using contour-plot map", *Science of the Total Environment*, 658 (2019), 1117-1130.
- Jannatkah, J., Najafi, B., & Ghaebi, H., 2020. Energy and exergy analysis of combined ORC – ERC system for biodiesel-fed diesel engine waste heat recovery. *Energy Conversion and Management*, 209, 112658.
- Kotas, T.J., 1985. *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*. Butterworths, UK, London.
- Liu, C., Liu, Z., Tian, J., Xu, Y., Yang, Z., & Wang, P., 2020. Investigations of energy, exergy distribution characteristics of overall working conditions and effect of key boundary parameters on residual energy availability in an automotive turbocharged diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 174, 115352.
- Mirbagheri, S. A., Safieddin Ardebili, S. M., & Kiani Deh Kiani, M., 2020. Modeling of the engine performance and exhaust emissions characteristics of a single-cylinder diesel using nano-biochar added into ethanol-biodiesel-diesel blends. *Fuel*, 278, 118238.
- Requia, W. J., Mohamed, M., Higgins, C. D., Arain, A., & Ferguson, M., 2018. How clean are electric vehicles? Evidence-based review of the effects of electric mobility on air pollutants, greenhouse gas emissions and human health. *Atmospheric Environment*, 185, 64-77.
- Reitz R. D., Duraisamy G., 2015. Review of high efficiency and clean reactivity controlled compression ignition (RCCI) combustion in internal combustion engines. *Prog Energy Combust Sci.* 46:12-71.
- Sokhi, R.S., 2011. In: *World Atlas of Atmospheric Pollution*, first ed. Anthen press, Nova York.
- Tesfa, B., Gu, F., Mishra, R., Ball, A.D., 2013. LHV predication models and LHV effect on the performance of CI engine running with biodiesel blends. *Energy Convers. Manage.* 71, 217-226.
- Venkanna, B.K., Venkataramana Reddy, C., 2012. Direct injection diesel engine performance, emission, and combustion characteristics using diesel fuel, nonedible honne oil methyl ester, and blends with diesel fuel. *Int. J. Energy Res.* 36, 1247-1261.
- Yıldız, İ., 2018. Thermodynamic analysis and emission assessment of a diesel engine fueled with various fuels, Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uşak, 39-71.
- Zhou N., Price L, Yande D, Creyts J, Khanna N, Fridley D., 2019. A roadmap for China to peak carbon dioxide emissions and achieve a 20% share of non-fossil fuels in primary energy by 2030. *Appl Energy.* 239:793-819.



AKUSTİK DALGALARIN FARKLI ORTAM YÜZEYLERİNDEKİ BASINÇ VE HIZ ETKİLERİNİN FDTD METODU İLE ÇÖZÜMLENMESİ

Turan ÇAKIL, H. Feza CARLAK*, Şükrü ÖZEN

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*FDTD,
Akustik Dalga Analizi,
Tek Boyutlu Gauss Modeli,
Akustik Dalga Maruziyeti,
Akustik Dalgalarda Basınç
Değişimi.*

Öz

Bu çalışmada ses dalgalarının farklı ortam yüzeylerinde meydana getirdiği basınç ve hız değişimleri ele alınmıştır. Ultrason dalgalarına benzerliği nedeniyle çalışmada ses dalgaları kullanılmıştır. Dalga modeli olarak, gauss nabız dalga modeli kullanılmıştır. Ortam yüzeyleri olarak hava, su, metal, s-oil, polietilen gibi cansız yüzeyler, doku türleri da olarak bağ doku ve kas dokusu yüzeyleri analizlerde kullanılmıştır. Seçilen bu ortam yüzeylerinde, akustik dalgalarının oluşturduğu basınç etkileri, zamanda sonlu farklar (FDTD) metodu kullanılarak incelenmiştir. Örneklenen gauss ses dalgasının analizinde, iterasyon sayısı arttıkça yayılım değeri de artmaktadır. Polietilen yapılı katmanlarda ise sesin oluşturduğu basıncın etkisinin düşük olduğu ($P_{\text{plastik}}=39,5 \mu\text{Pa}$ ve $V_{\text{plastik}}=13,17 \mu\text{m/sn}$) tespit edilmiştir. Canlı dokulardan bağ dokusu ve kas dokusu üzerinde yapılan incelemede ise bir ses dalgasının bu iki doku üzerinde benzer basınç ($P_{\text{bağ}}=1,295 \text{ Pa}$, $P_{\text{kas}}=1,282 \text{ Pa}$) ve hız ($V_{\text{bağ}}=0,63 \mu\text{m/sn}$, $V_{\text{kas}}=0,58 \mu\text{m/sn}$) değerleri oluşturduğu gözlenmektedir.

ANALYSIS OF PRESSURE AND VELOCITY EFFECTS OF ACOUSTIC WAVES ON DIFFERENT AMBIENT SURFACES USING FDTD METHOD

Keywords

*FDTD,
Acoustic Wave Analysis,
One-Dimensional Gaussian
Model,
Acoustic Wave Propagation,
Pressure Changes In The
Acoustic Wave.*

Abstract

In this article, the changes of pressure and speed on the various media surfaces, created by the sound waves are studied. Sound waves are used in the study due to their similarity to ultrasound waves. As the wave model, the Gaussian pulse wave pattern has been preferred. While inanimate surfaces such as air, water, metal, s-oil, polyethylene are used as ambient surfaces, and muscle and connective tissue surfaces are used as the living tissue in analyses. The pressure effects of acoustic waves on the selected media surfaces are investigated using the finite difference time domain (FDTD) method. In the study of the Gaussian sound wave, the propagation value increases as the number of iterations rises. In polyethylene layers, the effect of the pressure created by the sound is low ($P_{\text{plastic}} = 39,5 \mu\text{Pa}$ and $V_{\text{plastic}} = 13,17 \mu\text{m / sec}$). The study implemented on living tissues as a connective and muscle tissue depicts that a sound wave creates similar pressure ($P_{\text{connective}} = 1,295 \text{ Pa}$, $P_{\text{muscle}} = 1,282 \text{ Pa}$) and velocity ($V_{\text{connective}} = 0,63 \mu\text{m/sec}$, $V_{\text{muscle}} = 0,58 \mu\text{m/sec}$) values in both tissues.

Alıntı / Cite

Çakıl, T., Carlak, H.F., Özen, Ş., (2020). Akustik Dalgaların Farklı Ortam Yüzeylerindeki Basınç ve Hız Etkilerinin FDTD Metodu ile Çözülmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 844-855.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

T. Çakıl, 0000-0002-3475-6389
H. F. Carlak, 0000-0002-8561-4591
Ş. Özen, 0000-0002-5538-6786

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	08.05.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	03.07.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	10.09.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Giriş (Introduction)

Akustik dalgalar boyuna dalgalar olup parçacık hızı ve titreşim yönü sayesinde ses basıncı oluşturur (L. Beranek, 2009). Akustik dalga, aynı titreşim yönüne sahip parçacık hızı ve ses basıncından oluşan boyuna veya enine dal-

* İlgili yazar / Corresponding author: fezacarlak@akdeniz.edu.tr, +90-242-3106389

gadır. Havada, toprakta ve metallerde yayılma ortamından etkilenen dalgalarıdır (örnek olarak yansıma ve kırılma). Ayrıca biyolojik dokular da akustik ve elektromanyetik dalgaların yayılmasını etkileyen çeşitli zayıflama ve yayılma özellikleri gösterir. Bu koşullar, akustik dalga yayılım karakteristiklerini yani faz hızı ve zayıflama sabiti açısından tanımlanır, böylece optimum şekilde emilen doku ve malzemelerin elektriksel özellikleri ile gerekli tüm veriler sağlanır. Akustik dalgalar, hem endüstri hem de akademik alandan büyük ilgi görmektedir. Bunun nedeni olarak da, akustik dalga işleminin, diğer bazı uygulamalardaki geleneksel yeraltındaki algılama süreçlerinde ve tıp alanında yüksek analiz verimliliği, basit çalışma, düşük maliyet ve enerji verimliliği sağlayabileceğine dair faktörlerin etkili oldukları öne sürülebilir. Akustik alanında çalışan araştırmacıların çoğu, son yirmi yıldır hem kararlılık hem de doğruluk yöntemlerine iyi bir yaklaşım sunabilen standart sonlu farklar yöntemini araştırmışlardır (J. G. Maloney ve K. E. Cummings, 1995). Bu nedenle, doğrusal olmayan akustik yayılımının etkilerini tahmin etme yeteneği önem kazanmaktadır (Z. Zhan ve P. Wei 2010). Sayısal benzetim çalışmaları şu anda doğrusal olmayan akustik yayılımı tahmin etmenin en iyi yolu olarak görülmektedir. Zamanda sonlu farklar (FDTD) metodu yayılma problemlerine tam dalga çözümleri sağlamak için uygun sayısal tekniklerden birisidir (D.M. Sullivan, 2000). Kane Yee, tarafından ortaya atılan FDTD yöntemi, güçlü bir sayısal teknik olup, pek çok elektromanyetik problemin çözümünde başarıyla uygulanmakta, akustik dalga simülasyonlarında diğer yöntemlere nazaran giderek yaygın şekilde kullanılmaktadır (K. Yee, 1966). FDTD hesaplamada iyi bir doğruluk sağlarken, nispeten kısa bir sürede hesaplamalar yapılmasına da olanak sağlamaktadır (A. Chaigne ve A. Askenfelt vd.1994). Tek boyutlu çok katmanlı sistemler ile tabakalı sistemlerde özellikle geniş bir elektromanyetik spektrum için iletim kabiliyeti açısından FDTD yöntemi kullanmak avantaj olarak değerlendirilebilir (Carcione vd. 2002). Yöntemin iletken, dielektrik ve doğrusal olmayan kayıplı malzemelerde ki elektromanyetik dalga yayılımının analizinde, dalga kılavuzu modellenmesinde, düzlemsel mikrodalga devre tasarımında, mikroşerit filtre analizinde, aktif ve pasif anten modellenmesi gibi yaygın uygulama alanları vardır (V. Ostashev vd. 2005). Akustik dalgaların sayısal modellenmesi, çeşitli seslerin dinamik durumunu ve yoğunluk parametrelerini içerdiğinden dolayı çok karmaşıktır. Dolayısıyla, son yıllarda FDTD, akustik dalga yayılımının incelenmesi için kullanılacak popüler sayısal tekniklerden birisi haline gelmiştir (L. Beranek, 2009).

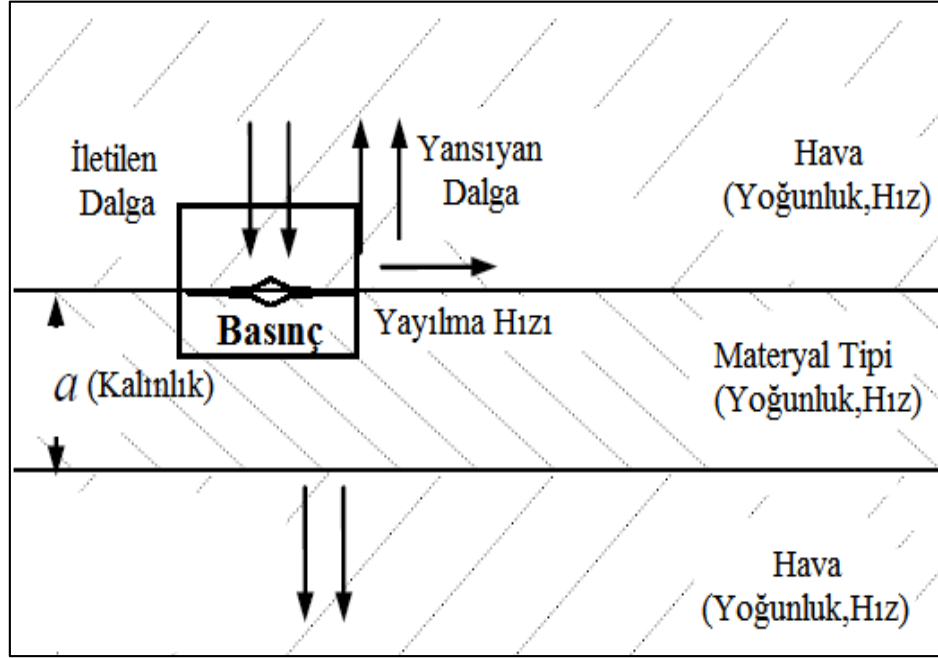
Bu çalışmada gauss dalga modeliyle oluşturulan dalgaların, belirli ortam yüzeylerinde oluşturduğu basınç ve hız değişimleri incelenmiştir. Seçilen bu ortamlar su, metal, bağ dokusu, kas dokusu ve (polietilenin bir türevi olan) plastiktir. Akustik dalgalar (ultrason) ile yapılan bu çalışmada bildirilen verilere bağlı olarak ga ve gb (elektriksel dirençleri) değerleri belirlenmiştir. Çalışmanın ana fikri, bu ortamdaki basıncın yayılımını incelemek ve her ortam için geriye doğru hesaplamak, farklı dokulara ve kontrollü kalınlıklara sahip çok katmanlı bir modelin elektriksel özelliklerini oluşturmaktır. Malzemelerin, yoğunluk ve hız katsayılarına göre basınç ve hız denklemleri kullanılarak FDTD metodu ile sonuçlar elde edilmiştir. Ses dalgaları doğa da bulunan malzemeler ile karşılaştığı zaman nasıl davranış göstereceğini tespit etmek ve yeni çözümler aramak için bu analizlere ihtiyaç duyulmaktadır (J. J. Bowman vd. 1987; Bording ve Lines, 1997).

Akustik dalgalar sayısal modellemelerde çok karmaşık dinamik durum ve yoğunluk parametreleri içerdiğinden, bu karmaşık yapının çözümlenmesinde FDTD metodu ile birlikte gauss akustik dalgasının yayılımı kullanılmaktadır (M. N. H. Zahari vd. 2015). Bu çalışmada özellikle örnek bir gauss dalgasının, bağ dokusu ve kas dokusu ile birlikte belirlenmiş cansız ortamlardan su, plastik ve metal yüzeylerinde oluşturduğu, basınç ve hız değişimleri ile ilgili sonuçlar sunulmaktadır. Plastiğin çeşidi olarak ise hidrokarbon yapıda olan polietilen seçilmiştir. Polietilenin seçilmesinin nedeni ise dünyada en yaygın kullanılan termoplastik çeşidi olmasıdır. Günlük hayatımızda ve endüstride oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Basınç ve hız değişimlerine göre elektriksel özellikleri için ga ve gb denklemleri oluşturulmuş olup, belirtilen iki denklemde yoğunluk ve hız değerleri yerine konularak akustik dalgaların, incelenen ortamlarda oluşturduğu maruziyet farklılıkları ortaya çıkarılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Prototip Model Gösterimi (Prototype Model)

Modelde iletilen bir akustik dalganın ortam tipine göre yüzeyde oluşturduğu basınç ve yüzeye çarpan dalganın bir kısmının yansıması, bir kısmının iletilmesi ve yüzeye çarpması sonucu yüzeyde oluşturduğu hızın değişimini gösteren model yapısı Şekil. 1 ile gösterilmektedir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan fiziksel model (Physical model configuration of the study)

2.2. Basınç ve Hız Denklemlerinin Çözümü (Solution of Pressure and Velocity Equation)

FDTD yöntemi, herhangi bir ortamda akustik dalga yayılımının elde edilmesini sağlar (Hong Wei Yang vd. 2013). Akustik dalga simülasyonlarıyla ilgili birçok çalışmada bu yöntem kullanılmıştır (Y. Pennec vd. 2013; J. Lovetri vd. 2010; Şükrü Özen vd. 2007). Belirli bir ortamda akustik dalgaların davranışlarını tanımlamak için, birinci mertebeden diferansiyel denklemlerin çıkarılması gereklidir (D.M. Sullivan, 2000).

$$\kappa \frac{\partial}{\partial t} p(\hat{x}, t) = \nabla \cdot \hat{u} \quad (1)$$

$$\rho_0 \rho_r \frac{d}{dt} \hat{u}(\hat{x}, t) = \nabla \cdot p(\hat{x}, t) \quad (2)$$

Burada;

$p(\hat{x}, t)$: Basınç alanı ifadesi [F/m^2] = [$kg/(m \cdot sec^2)$]

$\hat{u}(\hat{x}, t)$: Hız vektörü ifadesi [m/s]

ρ_0 : Dalga kaynağının referans alınan yoğunluk ifadesi

ρ_r : Dalganın göreceli(materyal) yoğunluğu

κ : Dalganın ortalama sıkıştırma oranı ($\kappa=1/\rho_0 \cdot \rho_r \cdot c^2$)

c: Dalganın ortalama hızı [m/s^2]

Denklem (1) için aşağıdaki genel denklem ifadesi yazılır:

$$\frac{\partial p(x,y,z,t)}{\partial t} = \frac{1}{\kappa(x,y,z)} \left[\frac{\partial u_x(x,y,z,t)}{\partial x} + \frac{\partial u_y(x,y,z,t)}{\partial y} + \frac{\partial u_z(x,y,z,t)}{\partial z} \right] \quad (3)$$

Elektromanyetik dalgalar, FDTD algoritması ile Kane Yee'nin ortaya çıkardığı Yee hücrelerinin yapısı ile analiz edilmektedir (K. Yee, 1966). Akustik dalgalar için de benzer analiz yöntemi Sullivan tarafından tanımlanmıştır (D.M. Sullivan, 2000). Bu hücrelerin yapısı birbirinden farklıdır. Her bir fark geçiş pozisyonları için hız vektörü bileşenleri oluşturulur. Skaler basınç alan değerleri hücrelerin düğümlerinde oluşmaktadır. Sullivan tarafından

tanımlanan Yee hücreleri akustik dalgaların yayılımını açıklamak için denklemler (1) ve (2) zaman ve konum üzerinde ayırt edilmelidir. Konum ve zaman ayırımı yapılan bu denklemlerden sonra, basınç ve hız denklemleri elde edilir:

$$p^{(n+1/2)}(i, j, k) = p^{(n-1/2)}(i, j, k) + \frac{\Delta t \cdot \rho_0 \cdot \rho_r \cdot c^2}{\Delta x} \cdot [u_x^n(i + 1/2, j, k) - u_x^n(i - 1/2, j, k)] + \frac{\Delta t \cdot \rho_0 \cdot \rho_r \cdot c^2}{\Delta y} \cdot [u_x^n(i, j + 1/2, k) - u_x^n(i, j - 1/2, k)] + \frac{\Delta t \cdot \rho_0 \cdot \rho_r \cdot c^2}{\Delta z} \cdot [u_x^n(i, j, k + 1/2) - u_x^n(i, j, k - 1/2)] \quad (4)$$

Hız vektör denklemi:

$$u^{(n+1/2)}(i, j, k) = u^{(n-1/2)}(i, j, k) + \frac{\Delta t}{\rho_r(i+1/2, j, k) \cdot \rho_0 \cdot \Delta x} \cdot [p^n(i + 1, j, k) - p^n(i, j, k)] + \frac{\Delta t}{\rho_r(i, j+1/2, k) \cdot \rho_0 \cdot \Delta y} \cdot [p^n(i, j + 1, k) - p^n(i, j, k)] + \frac{\Delta t}{\rho_r(i, j, k+1/2) \cdot \rho_0 \cdot \Delta z} \cdot [p^n(i, j, k + 1) - p^n(i, j, k)] \quad (5)$$

Denklemlerde (3) ve (4) 'ün üç boyutlu uzay, {p, u} basınç alanı tarafından yapılan p(x, t) ve hız alanı u(x, t) olarak tanımlanır. Belirli bir alanda oluşturduğu hücreler için bu denklemler sayesinde çözümler yapılır. Bu hücreler, üç boyutlu uzayda lokalize sorunu göz önüne alındığında kullanılan genel çözümlerdir. Bu çalışmada incelenen bir boyutta olan akustik dalga için kullanılan basınç ve hız denklemleri:

$$p^{(n+1/2)}(k) = p^{(n-1/2)}(k) + ga(k) \cdot [u_z^n(k + 1/2) - u_z^n(k - 1/2)] \quad (6)$$

$$u_z^n(k + 1/2) = u_z^n(k + 1/2) + gb(k + 1/2) \cdot [p^{(n+1/2)}(k + 1) - p^{(n+1/2)}(k)] \quad (7)$$

Buradan basınç ve hız denklemleri için 'ga' ve 'gb' katsayıları her bir materyal için verilen yoğunluk ve hız değerlerine göre hesaplanır. Burada z değeri sistemin tercih edilen eksenlerinden biridir.

$$ga(k) = \frac{\Delta t \cdot \rho_0 \cdot \rho_r \cdot c^2}{\Delta z} \quad (8)$$

$$gb(k + 1/2) = \frac{\Delta t}{\rho_0 \cdot \rho(k+1/2) \cdot \Delta z} \quad (9)$$

Yukarıdaki diferansiyel denklemlerdeki görülen zaman adımı t 'nstep' olarak ifade edilir. Aynı kural konuma bağlı adım için yani hücre sayıları için de geçerlidir.

$$\Delta z \leq \frac{\Delta t}{c_{max}} \quad (10)$$

$$\Delta z = \frac{\Delta t}{10^4} \quad (11)$$

Kararlılık koşulu sebebiyle C_{max} değeri bu çalışmada 10^4 alınarak işlemler yapılmış ve her bir ortam için farklı g_a ve g_b değerleri bulunmuştur. Bulunan g_a ve g_b değerleri basınç ve hız denklemlerinde yerine konularak toplam basınç ve hız değişimleri elde edilmiştir.

Tablo 1. Belirli ortamların akustik dalga özellikleri (Acoustic wave properties of specific environments)

Materyaller	Yoğunluk (kg/m ³)	Hız (m/s)
Su (20°C)	1000	1481
Hava (20°C)	1,19	343
Metal	7800	5900
S-Oil	2500	1000
Polietilen(Plastik)	950	0.33
Bağ Dokusu	1027	1545
Kas Dokusu	1090	1588,4

Tablo 2. Farklı Ortamlar için bulunan basınç ve hız denklemleri için hesaplanan katsayılar (Calculated coefficients for pressure and velocity equations obtained for different environments) (D.M. Sullivan, 2000)

Materyaller	Basınç Denklemi (ga)	Hız Denklemi (gb)
Su (20°C)	2,25x10 ⁵	6,67x10 ⁻⁸
Hava (20°C)	14,235	8,264x10 ⁻⁵
Metal	27,15x10 ⁶	1,282x10 ⁻⁸
S-Oil	2,5x10 ⁵	4x10 ⁻⁸
Polietilen(Plastik)	0,01	1,052x10 ⁻⁷
Bağ Dokusu	2,45x10 ⁵	9,737x10 ⁻⁸
Kas Dokusu	2,75x10 ⁵	9,174x10 ⁻⁸

3. Simülasyon Çalışmaları (Simulation Studies)

3.1. Gauss Dalga Modeli (Gauss Wave Model)

FDTD yönteminde zaman ve konum ayrıştırması yapılır. Courent sayısı, herhangi bir frekansta kaynak için dalga boyu başına simülasyon davranışlarını inceleyecektir. Burada kullanılan Gauss nabız dalgasıdır (Nesvijski vd. 2007). FDTD simülasyonu içinde doğru mekânsal türevleri hesaplamak için kaynak, küçük bir alanda tek nokta kaynağı olarak modellenmesi gerekir. Bu nedenle Şekil. 2' de gösterilen gauss (nabız) darbe kaynağı kullanılmıştır (M. N. H. Zahari vd. 2015).

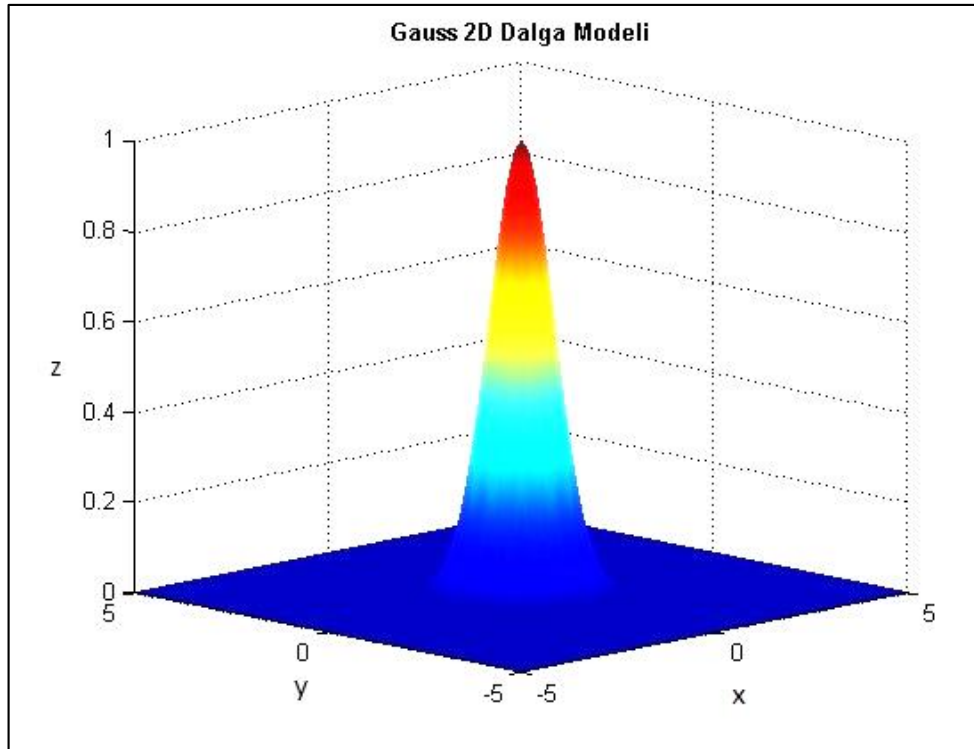
Gauss Dalga Denklemi (Weisstein, Eric W, 2013; Hongwei Guo, 2011; N. Hagen vd. 2007):

$$A(x) = \alpha \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-b}{c}\right)^2} \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (13)$$

Burada;

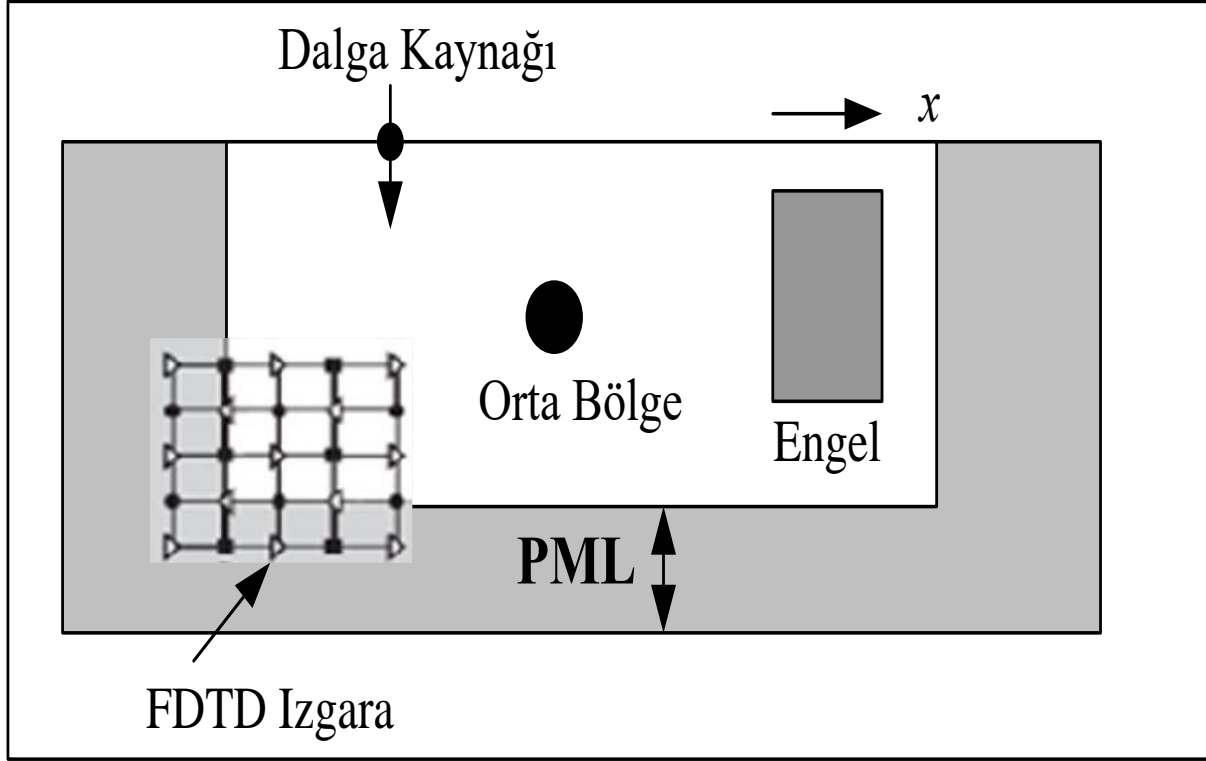
- α : Dalganın zirve yüksekliği,
- b (μ): Dalganın tepe (max) değeri,
- c (σ): Dalganın standart sapması.



Şekil 2. Gauss dalga modelinin 2D boyutlu gösterimi (2D representation of the Gaussian wave model)

3.2. Mükemmel Uyumluluk Katmanı (Perfectly Matched Layer, PML)

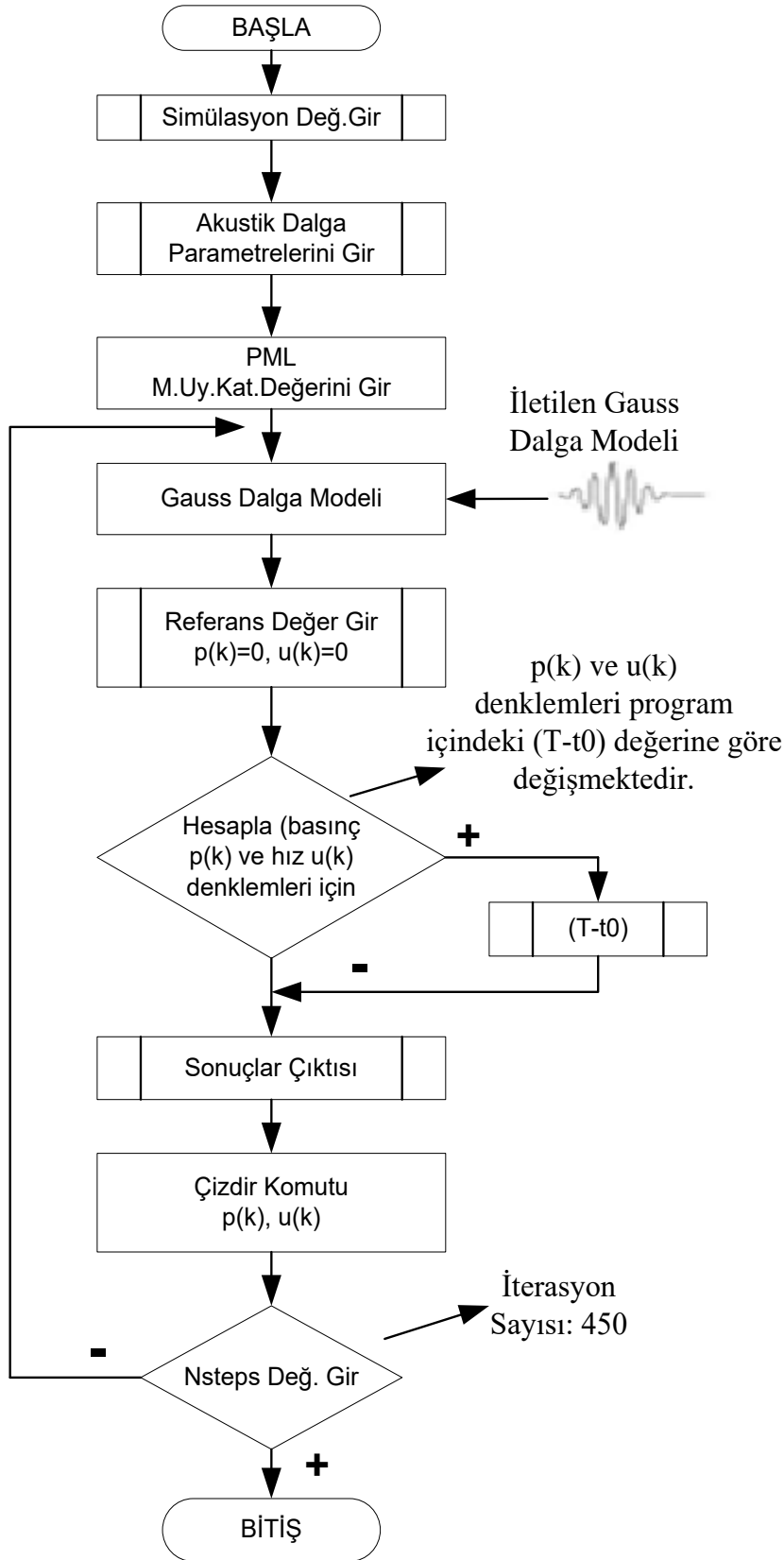
Mükemmel uyumluluk katmanı, her zaman sonsuz büyüklükte bir alan veya uygulanan dalga yayılımı simülasyonları için sınır koşulunu sağlayan önemli bir parametredir (J.-E Berenger, 1994). PML ile bölünmüş alanlar, tek boyutta olan elektromanyetik dalgaların analizinde kullanılır (Turkel E ve Yefet A, 1998; W. C. Chew ve W. H. Weedon, 1994; S.D. Gedney, 1996). Çalışmada incelenen akustik dalga problemlerinin analizi için de Şekil. 3' de gösterilen PML' nin fiziksel yapısı kullanılmıştır (Turkel E ve Yefet A, 1998; Liu Q H ve Tao J, 1997; Abarbanel S vd. 1999). FDTD metodu için kullanılmasının nedeni ise belirli bir sınır koşulu ile hesaplamaların daha az işlemle yapılmasını sağlamaktadır (M. N. H. Zahari vd. 2015).



Şekil 3. Tek boyutta FDTD hücrelerine göre pml' nin fiziksel yapısı (Pml physical structure based on one-dimensional FDTD cells)

3.3. Algoritma Uygulaması (Algorithm Implementation)

FDTD metodu ile akustik dalgaların analizi için yapılan bu çalışma, MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Uygulamada kullanılan algoritma yapısı ve algoritma akışına göre denklemlerin çözümünde kullanılan iterasyon yapısı Şekil. 4' de görülmektedir.

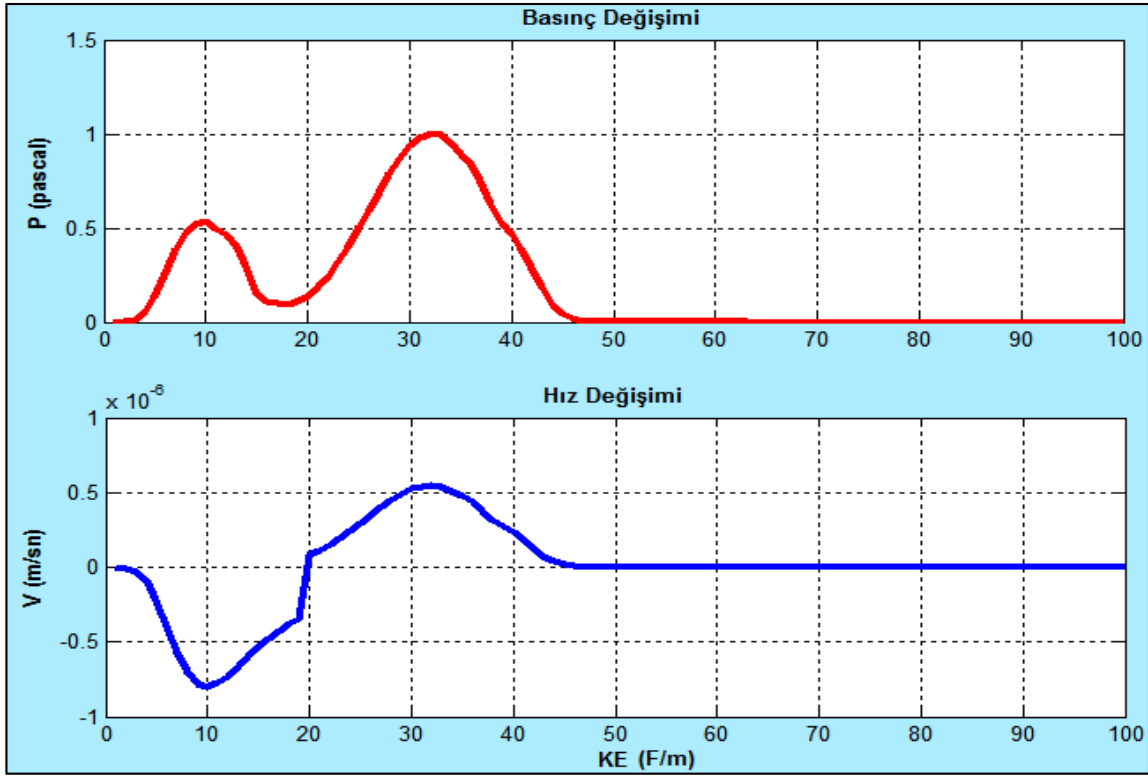


Şekil 4. Akustik dalgaların FDTD ile hesaplanmasını sağlayan programa ait akış şeması (The flowchart of the program calculates the acoustic waves using FDTD method)

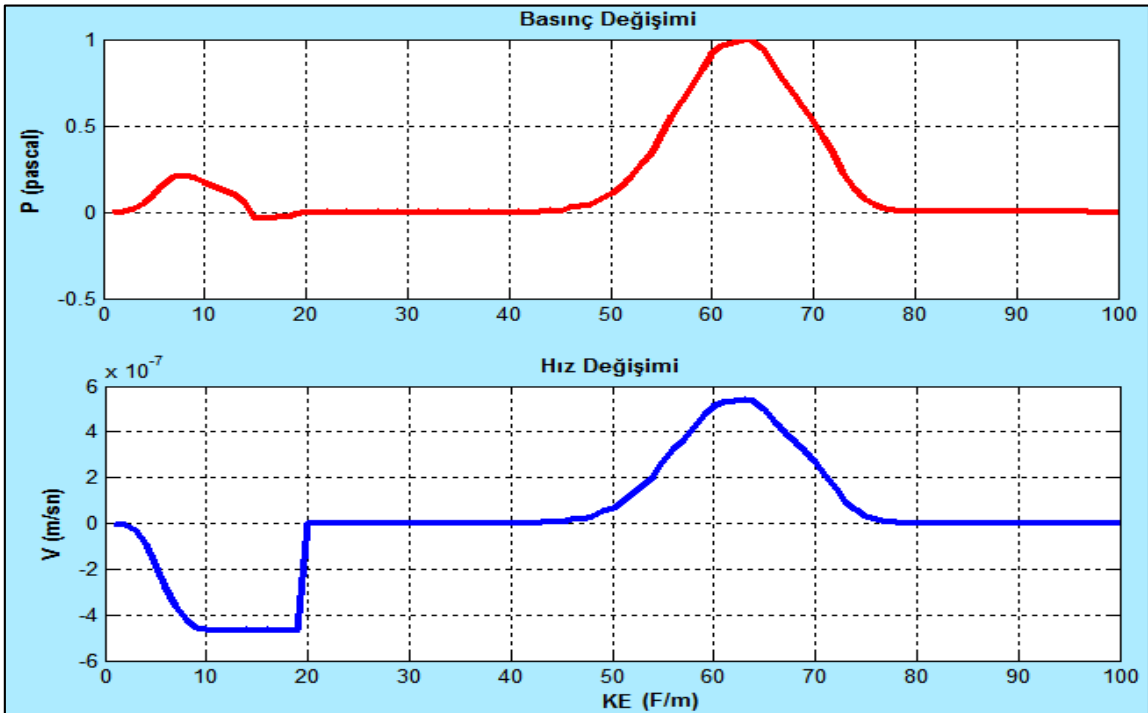
4. Deneysel Sonuçlar(Experimental Results)

Bu çalışmada akustik (ses) dalga iletimini sağlayan kaynaktan çıkan dalgaların ilk önce hava ortamından geçerek farklı ortamlardan oluşan aynı kalınlıktaki her bir katmana çarparak yüzeyde oluşturduğu basınç ve hız değerleri incelenmiştir. Aynı ortam frekansında, malzemeler için belirlenmiş, dielektrik sabiti olan KE (F/m) değeri 100, t

değeri 150, iterasyon (*nstep*) sayısı 450 ve PML değeri 15 olarak belirlenmiştir. Bütün katmanlar için aynı değerler alınarak ses dalgalarının basınç ve hız değerleri incelenmiştir. Ancak su ve kas doku katmanları için iki iterasyon uygulanmıştır (*nstep*:200, 450). FDTD benzetim sonuçları Şekil 5,6,10 ve 11' de verilmiştir.

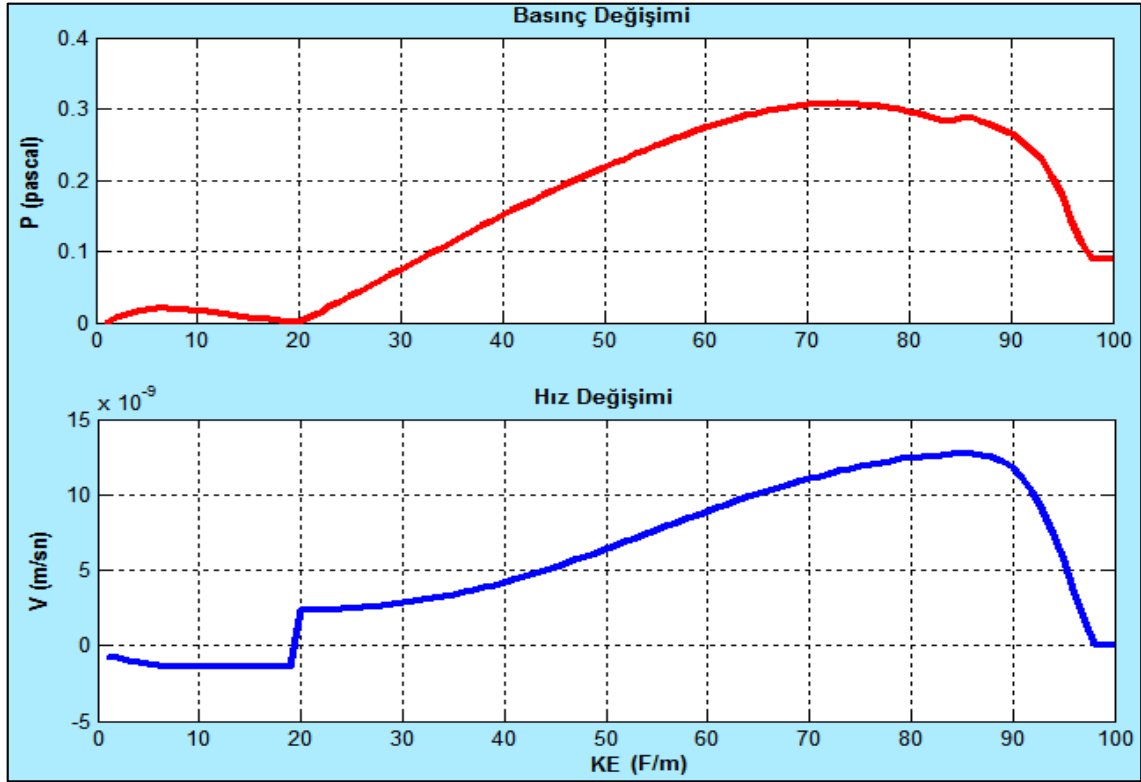


Şekil 5. Akustik (ses) dalgaların su katmanına çarpması sonucu oluşan basınç ve hız değişimi (The pressure and velocity alterations caused by acoustic (sound) waves hitting the water layer) (*nstep* = 200)



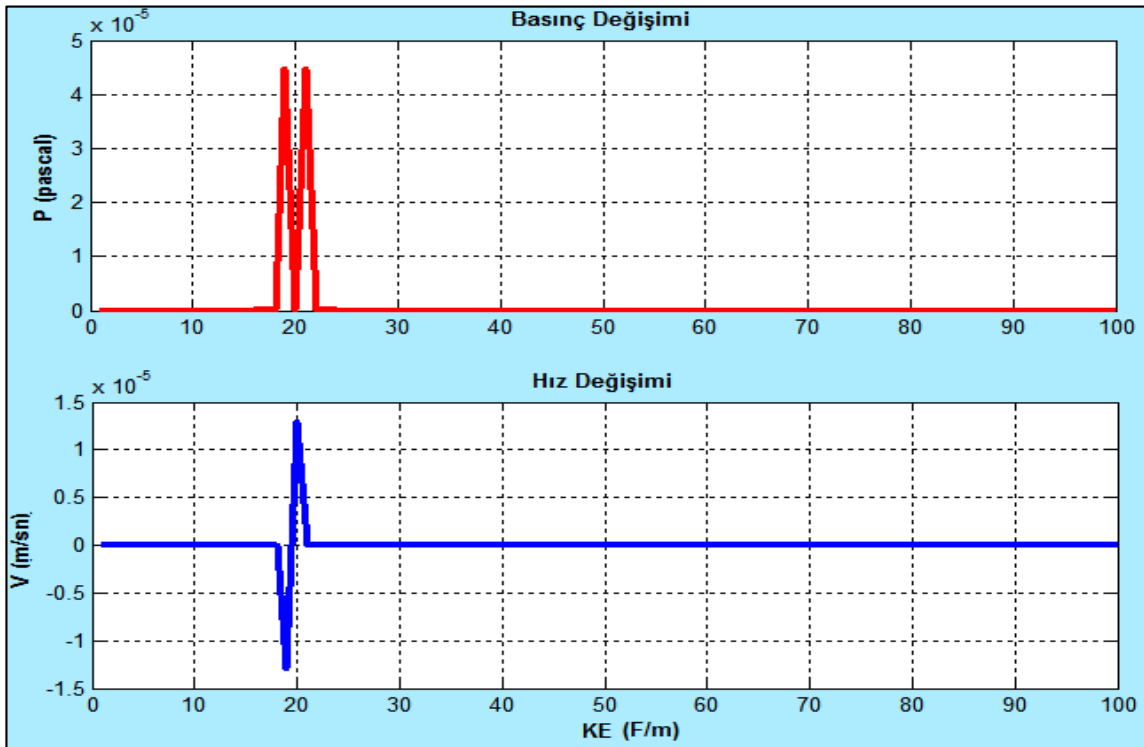
Şekil 6. Akustik dalgaların su katmanına çarpması sonucu oluşan basınç ve hız değişimi (The pressure and velocity alterations caused by acoustic waves hitting the water layer) (*nstep* = 450)

Cansız ortamlardan metal ve polietilen(plastik) yapıdaki katmanlar için yapılan FDTD benzetim sonuçları Şekil. 7 ve Şekil. 8' de görülmektedir.



Şekil 7. Akustik dalgaların metal katmanına çarpması sonucu oluşan basınç ve hız değişimi (The pressure and velocity changes caused by acoustic (sound) waves hitting the metal layer) (nstep = 450)

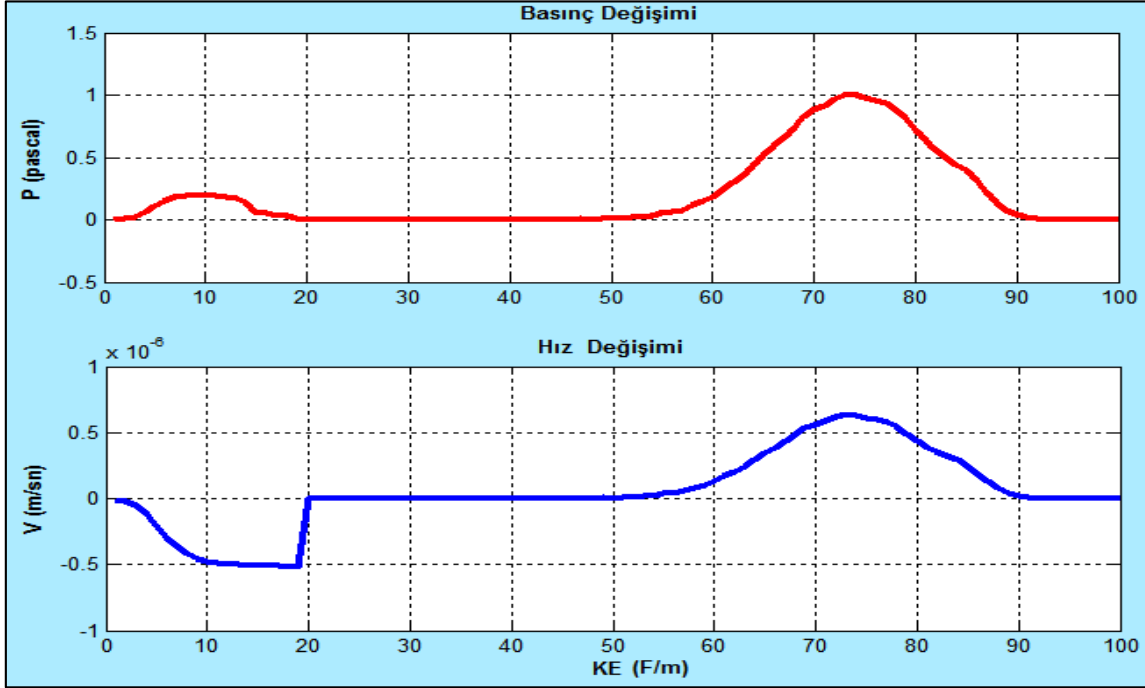
Şekil. 7' de anlaşılıyor ki akışkanlık ve materyallerin atomik yapısı hız-basınç değişimini etkileyen özelliklerden birisidir. Çünkü metalin basınç denklemindeki (Denklem 6' da gösterilmiştir.) 'ga' direnç katsayısı yüksektir. Bu nedenle hız değişimi en düşük çıkmıştır.



Şekil 8. Ses dalgalarının polietilen (plastik) katmanına çarpması sonucu oluşan basınç ve hız değişimi (The pressure and velocity changes caused by acoustic (sound) waves hitting the polyethylene (plastic) layer) (nstep = 450)

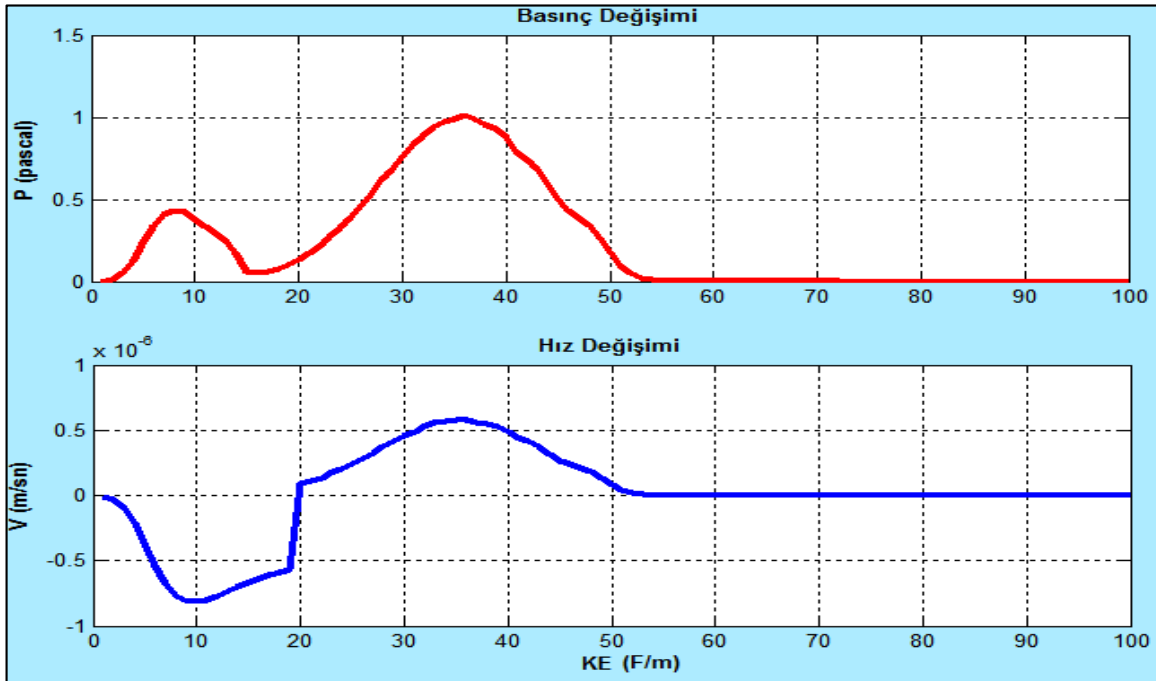
Çok karbonlu yapıda olan polietilen, yapısındaki karbonun çok kuvvetli bağlar oluşturması nedeniyle kimyasal olarak basınç değişimi en düşük çıkmıştır. Elektriksel olarak 'ga' direnç katsayısı en düşük olan polietilen yapıdaki

plastik katmanında ise basınç değişimi en düşük çıkmıştır. Şekil. 8' de gösterilen akustik (ses) dalgalarının en az yayıldığı ortam, polietilen yapıdaki plastik katmanlardır. Canlı ortamlar olarak genellikle ultrason dalgalarına maruz kalan doku türlerinden olan bağ dokusu ile kas dokusunun ses dalgalarına karşı davranışı incelenmiştir. Canlı ortamların genellikle 'ga' ve 'gb' katsayıları birbirine yakın olduğu hesaplamalarla tespit edilmiştir. Bunun sonucunda elde edilen FDTD benzetim sonuçlarının birbirleri ile tutarlı oldukları görülmektedir.

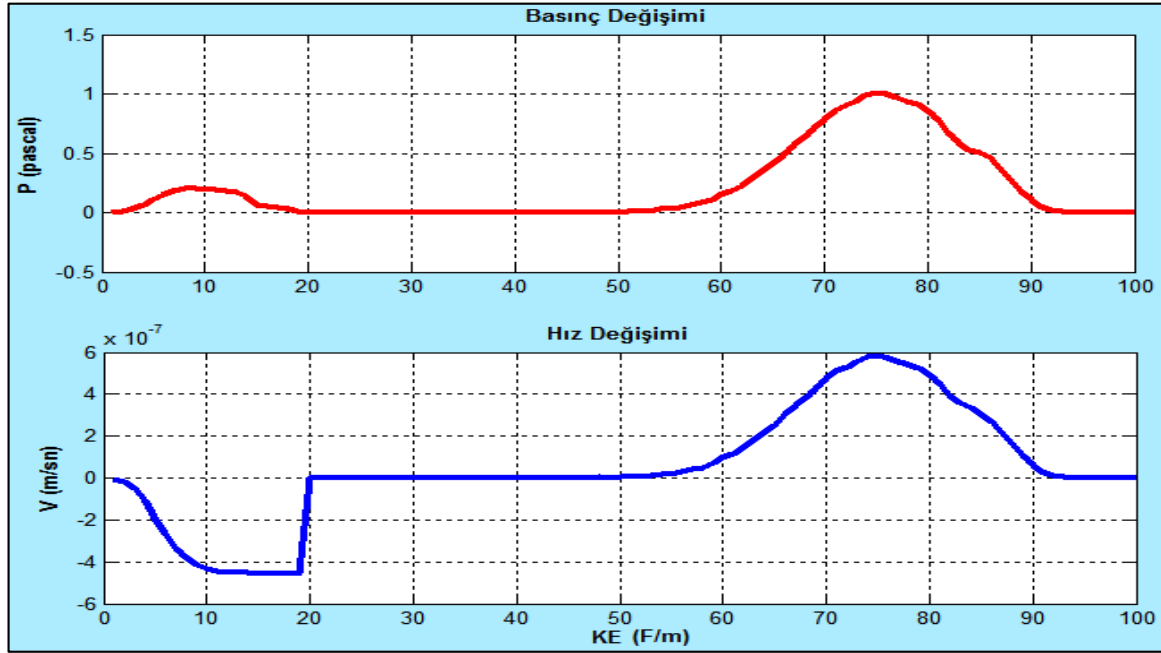


Şekil 9. Akustik dalgaların bağ dokusu katmanına çarpması sonucu oluşan basınç ve hız değişimi (The pressure and velocity changes caused by acoustic waves hitting the connective tissue layer) (nstep = 450)

Şekil. 9 ve Şekil. 11' de elde edilen sonuçların birbirleri ile oldukça yakın oldukları görülmektedir. Bunun nedeni kas ve bağ dokusu için hesaplanan elektriksel özelliklerden 'ga' ve 'gb' değerlerinin birbirine yakın çıkmış olmalarıdır (Tablo. 2). Ayrıca Şekil 5, 6, 10 ve 11' de görüldüğü üzere iterasyon sayısı arttıkça dalgaların yayılım hızları artmaktadır.



Şekil 10. Akustik dalgaların kas dokusu katmanına çarpması sonucu oluşan basınç ve hız değişimi (The pressure and velocity changes caused by acoustic waves hitting the muscle tissue layer) (nstep = 200)



Şekil 11. Akustik dalgaların kas dokusu katmanına çarpması sonucu oluşan basınç ve hız değişimi (The pressure and velocity changes caused by acoustic waves hitting the muscle tissue layer) (nstep = 450)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada aynı frekanslarda olan ses dalgalarının eşit kalınlıktaki farklı katmanlara çarpması sonucu yüzeylerinde oluşturduğu dalga yayılımı (propagation) incelenmiştir. İncelenen yapı için yüzey üzerinde oluşan toplam akustik basınç seviyesi, yayılım ve hız seviyesine ilişkin değişim karakteristikleri elde edilmiştir. Hangi katmanlarda basınç ve hız değerlerinin yüksek olduğu, hangi katmanlarda bu değerlerin düşük olduğu ve sesin incelenen katmanlardan hangisinde daha iyi yayıldığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca örneklenen gauss ses dalgasının analizinde iterasyon sayısı arttıkça yayılım değerinin de arttığı tespit edilmiştir. Metal yapı katmanlarda ise sesin yayılımının kolay olduğu ancak sesin oluşturduğu hız değerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Çünkü metalin basınç denklemindeki 'ga' direnç katsayısı yüksek çıkmıştır. Basınç değeri, 0.33 Pa olarak tespit edilmiştir. Polietilen yapı katmanlarda ise sesin oluşturduğu basıncın etkisinin düşük olduğu görülmektedir. Bundan dolayı sesin polietilende oluşturduğu hız aniden sönümlenmiştir. Basınç değeri 39,5 μ Pa olarak tespit edilmiştir. Bu durum sesin diğer katmanlarda oluşturduğu akustik basınç değerleri arasında en düşük basınç değeridir. Canlı dokulardan bağ dokusu ve kas dokusu üzerinde yapılan incelemede ise bir ses dalgasının bu iki doku üzerinde benzer sonuçlar gösteren basınç ve hız değerleri oluşturduğu gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda kas dokusu ve bağ dokusu üzerinde ses dalgasının oluşturduğu maksimum basınç değeri (1~1.3) Pa olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ses dalgasının aynı şartlar altında bağ dokusunda oluşturduğu yayılma hızının ($V_{bağ}=0,63 \mu\text{m/sn}$) kas dokusunda oluşturduğu yayılma hızından ($V_{kas}=0,58 \mu\text{m/sn}$) büyük olduğu da görülmektedir. Yapılan çalışma ile canlı ve cansız ortamlar için akustik dalgaların hız ve basınç parametreleri ve etkilerinin analizinde FDTD metodunun etkili bir araç olarak kullanılabileceği, bu alandaki çalışmalar için efektif benzetim sonuçlarının elde edilebileceği gösterilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma, biyolojik dokularda akustik maruziyet analizlerinde, gürültülü mekân tasarımlarında, ekranlama problemlerinde ve vibro-akustik analizleri vb. yapılacak ileri çalışmalara ışık tutacaktır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- A. Chaigne, A. Askenfelt, Numerical simulations of piano strings-Part I: a physical model for a struck string using finite difference methods, *Journal of the Acoustical Society of America* 95/2 (1994) 1112-1118.
- Abarbanel S, Gottlieb D, Hesthaven J S, Well-posed perfectly matched layers for advective acoustics, *Journal of Computational Physics*, 1999, 154(2) 266-283.
- Bording, R. P. and Lines, L. R. 1997. Seismic modeling and imaging with the complete wave equation. SEG Course Notes N8.
- Carcione, J. M., Herman, G. C., and ten Kroode, A. P. E. 2002. Y2K review article: Seismic modeling. *Geophysics*67, pp. 1304-1325.

- D. Razansky, P. D. Einziger, and D. R. Adam, Increased Acoustic and Electromagnetic Energy Deposition in a Layered Tissue Model, Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS, San Francisco, CA, USA, September 1-5, 2004.
- D.M. Sullivan, Electromagnetic simulation using the FDTD method, IEEE Press, 2000.
- Hong Wei Yang, Ze Kun Yang, Jian Xiao Liu, Ai Ping Li, Xiong You, A novel DGS microstrip antenna simulated by FDTD, Optik 124/16 (2013) 2277-2260.
- Hongwei Guo, A simple algorithm for fitting a Gaussian function, IEEE Sign. Proc. Mag. 28(9): 134-137 (2011).
<https://itis.swiss/virtual-population/tissue-properties/database/acoustic-properties/> Date of Access: 20 March 2020.
<https://itis.swiss/virtual-population/tissue-properties/database/acoustic-properties/> Date of Access: 20 March 2020
- J. G. Maloney and K. E. Cummings, Adaptation of FDTD techniques to Acoustic modeling, 11th Annual Review of Progress in Applied Computational Electromagnetic, Monterey, CA, vol. 2, March 1995, pp. 724-731.
- J. J. Bowman, T. B. A. Senior, and P. L. E. Uslenghi, Electromagnetic and Acoustical Scattering by Simple Shapes. New York, Hemisphere, 1987.
- J. Lovetri, D. Mardare, G. Soulodre, Modeling of the seat dip effect using the finite-difference time-domain method, Journal of the Acoustical Society of America 100 (1996) 2204-2212.
- J.-E Berenger, A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves, J. Comput. Phys. 1994, 114. 185-200.
- K. Yee, Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media, IEEE Transactions on Antennas and Propagation 14/3 (1966) 302-307.
- L. Beranek, Acoustics, New York, McGraw-Hill, 1954
- Liu Q H, Tao J, The perfectly matched layer for acoustic waves in absorptive media, The Journal of the Acoustical Society of America, 1997, 102(4): 2072-2082.
- M. N. H. Zahari, S. H. Dahlan and A. Madun, A review of acoustic FDTD Simulation technique and its application to underground cavity detection, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 10, no.19, October 2015, Malaysia.
- N. Hagen, M. Kupinski, and E. L. Dereniak, Gaussian profile estimation in one dimension, Appl. Opt. 46:5374-5383 (2007).
- S.D. Gedney, An anisotropic perfectly matched layer absorbing media for the truncation of FDTD lattices, Antennas and Propagation, IEEE Transactions, 1996, 44 (12): 1630-1639.
- Sukru Ozen, Selcuk Helhel, and O. Halil Colak, Electromagnetic Field Measurements of Radio Transmitters in Urban Area and Exposure Analysis, Microwave and Optical Technology Letters / Vol. 49, No. 7, July 2007.
- Tauseef Qamar Dmrd, Mtidu, Musp, Member American Institute of Ultrasound in Medicine, Punjab Ultrasound Society, 2014, ICEAF (USA).
- Turkel E, Yefet A, Absorbing PML boundary layers for wave-like equations, Applied Numerical Mathematics, 1998, 27(4): 533-557.
- V. Ostashev, D. Wilson, L. Liu, D. Aldridge, N. Symons, D. Marlin, Equations for finite-difference time-domain simulation of sound propagation in moving inhomogeneous media and numerical implementation, Journal of the Acoustical Society of America 117 (2005) 503-517.
- W. C. Chew and W. H. Weedon, A 3d perfectly matched medium from modified Maxwell's equations with stretched coordinates, Microwave Optical Tech. Letters, 1994, 7 (13): 599-604.
- Weisstein, Eric W. "Fourier Transform-Gaussian". MathWorld. Retrieved 19 December 2013.
- Y. Pennec, J.O. Vasseur, B. Djafari-Rouhani, L. Dobrzynski, P.A. Deymier, Two-dimensional phononic crystals, Examples and application, Surface Science Reports, 65/8, 2010, 229-291.
- Z. Zhan, P. Wei, Influences of anisotropy on band gaps of 2D photonic crystal, Acta Mechanica Solida Sinica 23/2, 2010, 181-18.
- Zhang, H., Liu, B., A New Genetic Algorithm for Order-Picking of Irregular Warehouse. International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, 1, 2009, 121-124.



OKUL ÖNCESİ DÖNEM ÇOCUKLARINA OYUNLAŞTIRMA İLE ALGORİTMA EĞİTİMİ VERİLMESİ

Elif ATABAY¹, Mehmet ALBAYRAK^{2*}

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Ens., Bilgisayar ve Öğrt. Tek. EABD, Isparta, Türkiye

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Uzaktan Eğitim MYO, Bilgisayar Tek. Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Oyunlaştırma, Okul Öncesi, Algoritma, Rozet, Ödül.</i>	<p>Bu çalışmanın amacı, okul öncesi dönem çocuklarına oyunlaştırma yöntemini kullanarak algoritma konusunun öğretilmesidir. Araştırma kapsamında 2018-2019 eğitim-öğretim yılı güz döneminde, Konya Ereğli Bil Kolejinde öğrenim gören 12 okul öncesi öğrencisi ile uygulama gerçekleştirilmiştir. Araştırma eylem araştırması desenine göre yürütülmüştür. Araştırmanın amacı doğrultusunda okul öncesi dönem çocuklarına robotik kodlama dersi kapsamında, bu derse temel oluşturan algoritma eğitimi, geliştirilen hikâyeler ve hazırlanan yazılım üzerinden gerçekleştirilen etkinliklerin, çocukların derse olan motivasyonlarına ve öğrenme süreçlerine etkisi incelenmiştir. Hikâyeler ve yazılım uygulama sürecinde etkinlikler rozet, ödül gibi oyunlaştırma öğeleri ile de zenginleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda; oyunlaştırmayla öğrenmenin okul öncesi dönem çocuklarının algoritma ve sıra kavramını öğrenmesinde etkili olduğu, bir problem durumunu analiz ederek adımlarına ayırabildikleri görülmüştür. Okul öncesi dönem çocuklarının oyunlaştırma sürecini eğlenceli buldukları, rozet ve ödülün motivasyonlarını canlı tuttuğu ve etkinliklere katılmak istedikleri ulaşılan sonuçlardan en önemlisidir. Bu süreç bir sonraki aşama olan kodlamaya geçişte önemli bir kazanım ortaya koymuştur.</p>

ALGORITHM TRAINING WITH GAMIFICATION FOR PRESCHOOL CHILDREN

Keywords	Abstract
<i>Gamification, Preschool, Algorithm, Badge, Reward.</i>	<p>The aim of this study is to teach the subject of algorithm to preschool children by using gamification method. Within the scope of the research, implementation was carried out with 12 pre-school students studying at Konya Ereğli Bil College in the fall semester of the 2018-2019 academic year. The research was carried out according to the action research pattern. In line with the purpose of the research, the effects of the activities on the motivation and learning processes of the children in the lesson were investigated within the scope of the robotics and coding course for preschool children. In the process of stories and software implementation, activities were enriched with gamification elements such as badges and awards. As a result of the study; It has been observed that learning through gamification is effective in learning the concept and algorithm concept of preschool children, they can analyze a problem situation and take it into steps. The most important result is that preschool children find the gamification process funny, keep the motivations of the badge and award alive and want to participate in the activities. This process revealed a significant gain in transition to coding, which is the next stage.</p>

Alıntı / Cite

Atabay, E., Albayrak, M., (2020). Okul Öncesi Dönem Çocuklarına Oyunlaştırma ile Algoritma Eğitimi Verilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 856-868.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Atabay, 0000-0002-4545-8926
M. Albayrak, 0000-0002-7089-122X

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	09.01.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	13.05.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	30.06.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

* İlgili yazar / Corresponding author: mehmetalbayrak@isparta.edu.tr, +90-246-214-7010

1. Giriş (Introduction)

Algoritma oluşturma becerisi yazılım geliştirme sürecinin temel işlevlerinden biridir. Öğrencilere algoritma oluşturma becerisinin erken yaşlarda kazandırılması yazılım geliştirme alanındaki potansiyellerinin artmasına fayda sağlayacaktır. 21. yüzyıl dünyasında problem çözme becerisi gelişmiş insanların yetiştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Problem çözme becerisinin gelişmesi ise, kodlamanın temeli olan algoritma konusunu öğrenmekten geçer. Bu konuda yurtdışında ve yurt içinde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Saygıner ve Tüzün' ün (2017) ülkelerin programlama eğitimine verdiği değerleri araştırdıkları çalışmaya göre pek çok ülkenin programlama eğitimine verdiği önemin arttığı ve bu eğitimlerin erken yaşlarda verilmesine yönelik bir eğilimin olduğu görülmektedir. Türkiye' deki programlama eğitimi faaliyetlerinin de genellikle okuma-yazma bilen 7 yaş ve üzeri öğrencilerin seviyesine uygun eğitim verecek şekilde yapılandırıldığı görülmektedir. Yurtdışındaki eğilimleri yakalamak ve ülkemizdeki programlama eğitimi faaliyetlerinin okul öncesi seviyeye uyarlanabilmesini sağlayabilmek için okul öncesi öğrencilere uygun kodlama eğitimi yöntem ve tekniklerinin sayısının artırılması gerekmektedir.

Okul öncesi dönemler özellikle okuma-yazma bilmedikleri için kodlama eğitimi verilebilmesi açısından erken yaşlar olduğundan algoritma eğitimi ile başlanması daha uygun görülmektedir. Programlama sürecinde çözüm yolları algoritma aşamasında belirlenir. Bunu Akpınar ve Altun (2014) "öğrenciler programlama yaparken önce verilen probleme çözüm üretmek zorundadırlar" şeklinde ifade etmişlerdir. Ancak okul öncesi dönemdeki öğrencilere kodlama öğretme sürecinde kullanılabilecek araçların sayısının yetersiz olduğu Odacı ve Uzun (2017) tarafından yapılan çalışmada dile getirilmiştir.

Okul öncesi dönem öğrencileri için tasarlanacak araçlarda kullanılabilecek yöntemlerden biri de oyunlaştırmadır. Oyunlaştırma öğelerinden faydalanılan öğrenme ortamları çocukların sevdiği oyun etkinliklerini de içereceğinden ilgilerini çekmeye yardımcı olacaktır. Eğitim etkinliklerine oyunlaştırma dinamiklerinin entegre edilmesi "eğitimde oyunlaştırma" olarak ifade edilebilir. Yıldırım (2016) eğitimde oyunlaştırmayı "güçlü yönlerinden faydalanmak için oyun tasarımı sürecinin eğitime aktarılacak öğrencilerin motivasyonlarının artırılması ile başarının ve derse karşı tutumlarının olumlu yönde geliştirilmesi" şeklinde açıklamıştır. Bu açıklamadaki motivasyonlarının artırılması ve tutumların olumlu yönde geliştirilmesi ifadeleri okul öncesi dönemdeki çocukların okula ve eğitime dair görüşlerinin olumlu yönde şekillendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Öğrenme ortamlarını çocuklar için daha eğlenceli hale getirmek gelecek eğitim etkinlikleriyle ilgili tutumlarının da olumlu yönde gelişmesini sağlamış olacaktır. Sürecin çocuklar açısından daha faydalı ve eğlenceli hale getirilmesi oyunlaştırmayla mümkün hale gelmektedir.

Bu çalışmanın hedef kitlesi okul öncesi eğitim gören çocuklar olarak seçilmiştir. Çünkü okul öncesi döneme ait eğitimde kullanılabilecek kodlama araçları ve yöntemleri ülkemizde oldukça sınırlıdır. Bu tür çalışmalarla farklı yöntem ve araçlar test edilerek okul öncesi dönem çocuklarına uygun olabilecek programlama eğitimi ortamlarının belirlenmesi ve tasarlanması gerekmektedir. Mevcut durumda okul öncesi çocukların programlama eğitimde kullanılabilecek araçların yetersiz olmasından dolayı çoğunlukla bilgisayarsız kodlama etkinlikleri tercih edilmektedir (Odacı ve Uzun, 2017). Bu araçlara alternatif olacak ve uygulayıcılara yani öğretmenlere esneklik sağlayabilecek yazılımların geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada algoritma eğitiminde kullanılabilecek bir yazılıma oyunlaştırma öğeleri entegre edilerek eğitim sürecinin oyunlaştırılması sağlanmıştır.

Araştırmanın amacı olarak; okul öncesi dönem çocuklarına kodlama eğitiminin temeli olan algoritma konusunu oyunlaştırma tekniğini kullanarak öğretmek amaçlanmıştır. Bu amaçla okul öncesi dönem çocuklarının dikkatlerini, odaklanmalarını ve derse motivasyonlarını canlı tutacak, eğlenerek öğrenmelerini sağlayacak hikâyeler ile okul öncesi dönem çocukları için hazırlanan bilgisayar yazılımının oyunlaştırılması yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda oyunlaştırma teknolojisinin kullanılmasında aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aranmıştır.

1. Okul öncesi dönem çocuklarının algoritma kavramını öğrenmesindeki bireysel gelişimleri nelerdir?
2. Okul öncesi dönem çocuklarının bir problemin çözümünde analiz yapma ve sıralı düşünme, farklı çözüm üretme becerilerindeki gelişmeler nelerdir?
3. Okul öncesi dönem çocuklarının dikkat, motivasyon ve odaklanma sürelerindeki değişimler nelerdir?
4. Okul öncesi dönem çocuklarının günlük hayatta bir problemin çözümünde yaratıcı düşünerek farklı çözümler üretebiliyor mu?

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Bu başlık altında oyun, oyunlaştırma, eğitim ve oyunlaştırma, algoritma ve erken çocukluk dönemi kavramlarına yer verilmiştir. Bu kavramların net olarak ortaya konulması konunun önemini açıklamaya yardımcı olacaktır.

2.1. Oyun Kavramı (Game Concept)

Yetişkinler için eğlenmek ve dinlenmek gibi anlamlar ifade eden oyun, çocuklar için ise yaşadığı dünyayı tanıma aracıdır. Çocuklar dünyayı oyunla tanır, paylaşmayı öğrenir. Bazen duygu ve düşüncelerini anlatamayan çocuğun iç dünyasına oyunla ulaşılabilir. Oyun yoluyla çocuklar zorluklara karşı koyabilme gücü, bulunduğu ortama uyum sağlama ve yaratıcılık gibi becerilerini geliştirirken, kendini ve dünyayı keşfetmesini sağlayacak deneyimler yaşama fırsatı bulabilirler (Gülay, 2010; Yavuzer 2010). Oyunlar insanların doğumlarından itibaren sürekli hayatlarına yön verir. Bebeklerin ve çocukların dünyayı oyun olarak gören gözleri, onların bilişsel, duyuşsal, fiziksel bağlamlarda gerekli yeterliliğe ulaşmasında, dahası hayatın onlardan ileriki yaşlarda talep edeceği (Huizinga,1955) yeterlilikleri sağlamalarında en önemli yardımcıdır. Huizinga' ya göre, oyun insanların kültür oluşumundan önce de var olmuş ve olacak olan, insanın en saf ve biyolojik etkinlikleridir. Oyun insanları kendi hayatlarına hazırlamak için gerçekleşen bir öğrenme eylemidir.

Piaget' e (1962) göre oyun bir uyumdur ve insanların kendi seçtikleri ve kendilerine göre sağlam kuralları olan eylemlerdir. And (1964) ise oyunu, isteğe bağlı olarak yapılan, günlük yaşamdan yer ve süre olarak ayrılan gönüllü bir eylem olarak tanımlamıştır. Gazali'ye (1058-1111) göre oyun, çocuğun zihnini tazeler, dinlendirir ve öğrenme gücünü artırır (Akandere, 2003, Akt. Koçyiğit vd., 2007). Gazali çocuğun gelişimi için oyundan alıkonulmaması gerektiğini belirtir. Oyun çocukların ve büyüklerin, günlük hayatlarından geriye kalan boş zamanlarında, sadece eğlenme yoluyla dinlenmelerini sağlamaktadır (Keskin, 2009).

2.2. Oyunlaştırma Kavramı (Gamification Concept)

Oyunlaştırma ile ilgili birçok tanım yapılmıştır. Zicherman ve Cunningham (2011) tarafından oyunlaştırma "oyundaki düşünce biçiminin ve oyun kurallarının, kullanıcıların ilgisini çekmek ve problem çözmek amacıyla kullanılması" olarak tanımlanmaktadır. Deterding vd. (2011) ise oyunlaştırmayı "oyun tasarım öğelerinin oyun dışı içeriklerde uygulanması" olarak tanımlanmaktadır. Marczewski (2015) tarafından oyunlaştırma, oyuna benzeyen ve bağlılığı sağlayan bir deneyim oluşturmak için oyun tasarım öğelerinin kullanılması olarak tanımlanmıştır. Şekil 1' de D6 olarak adlandırılan oyunlaştırma tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 1. D6 Oyunlaştırma Tasarımı (Werbach ve Hunter, 2012) (D6 Gamification Design)

Oyunlaştırmaya ilişkin diğer bir tanım Kapp (2012) tarafından yapılmıştır. Kapp' a göre oyunlaştırma, insanları bağlama, motive etme, öğrenmeyi geliştirme ve problem çözme amacıyla oyun tabanlı mekaniklerin, estetiğin ve oyun düşüncesinin kullanılmasıdır. Gartner Group' ta bir uzman olan Burke (2011) oyunlaştırmayı yenilikçilik, pazarlama, eğitim, çalışan performansı, sağlık ve sosyal değişim gibi oyun olmayan ortamlarda oyun mekaniklerini kullanma olarak tanımlamıştır. Oyunlaştırmanın hedefleri üst düzeyde güdülenmeye ulaştırmak, davranış değişikliği sağlamak, yenilikçiliği teşvik etmektir. Burke (2011) oyunlaştırmayı kullanarak güdülenme sağlamak için dört temel araç tanımlamıştır. Bunlar:

Hızlandırılmış dönüt: Gerçek dünyada geri dönüşüm döngüleri uzun sürelerle yayıldığından yavaştır. Oyunlaştırma etkileşimi sağlamak için geri bildirim döngülerinin hızını artırır.

Açık hedefler ve oyun kuralları: Hedeflerin belirsiz ve seçmeli kuralların olduğu gerçek dünyanın aksine oyunlaştırma, net hedefler ve iyi tanımlanmış kurullarla oyuncuları hedeflerine ulaştırarak, güçlü hissetmelerini sağlar.

Zorlayıcı ortam: Gerçek dünya aktiviteleri nadiren zorlayıcı iken, oyunlaştırma katılımcıları hedeflere ulaşmaya zorlayan bir ortam oluşturur.

Mücadele gerektiren ulaşılabilir hedefler: Gerçek dünyada mücadeleler zor ve sıkıntılı olmasa da uzun vadede gerçekleşir. Oyunlaştırma katılımı sağlamak için, kısa ve ulaşılabilir hedefler sağlar.

Oyunlaştırma ve oyun tabanlı öğrenme birbirine karıştırılmaktadır. Oyunla öğretimde oyunun içine öğretim öğeleri entegre edilirken, oyunlaştırmada mevcut öğrenme öğelerinin içine oyun bileşenleri entegre edilmektedir. Oyun tabanlı öğrenmede oyun öğrenmeyi sağlamak için kullanılırken, öğretim ortamının oyunlaştırılmasında oyun yoktur.

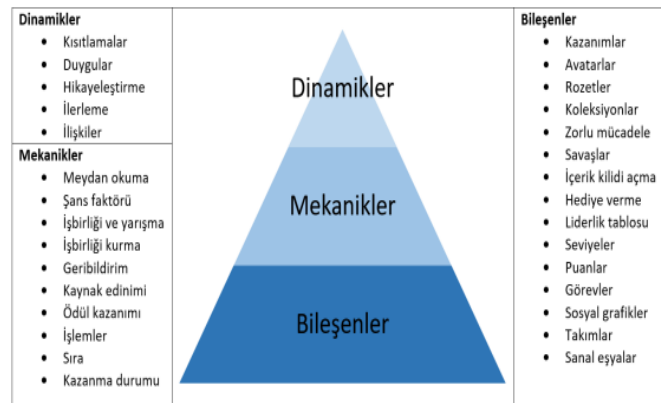
Tablo 1. Oyun ve Oyunlaştırma Arasındaki Farklar (Differences Between Gaming and Gamification)

OYUN	OYUNLAŞTIRMA
Objeler ve onları kullanmak için kuralları vardır.	Kurallar daha çok verilen görevleri tamamlamak içindir.
Kazanma ve kaybetme vardır.	Kaybetme genelde yoktur. Daha çok aksiyon aldırma için desteklenir.
Bir hikâyesi ve ona göre bir tasarımı vardır.	Asıl uygulandığı süreç neyse onu destekler.
Tümüyle tasarlanmalı ve tek başına çalışmalıdır.	Var olan sürece entegre olur, ayrı çalışır.
Üretimi çok pahalı ve karmaşıktır.	Entegrasyonu basittir.

Oyunlaştırma temelini oyundan alır ve oyunlarda bulunan dönüt, etkileşim, amaç gibi unsurları içinde barındırır. Oyunlaştırmada amaç öğrenme sürecinin öğrenenler açısından daha çekici hale getirerek motivasyonlarını ve bağlılıklarını arttırmaktır. Oyunlaştırma eleştirel ve stratejik düşünerek problem çözme, kontrol duygusu, öğrenme ortamına adanmışlık ve bireylerin sürece katılımını sağlayarak zengin öğrenme ortamları ve kalıcı öğrenme sağlar. Oyun ve oyunlaştırmaların farkları Yılmaz (2017) tarafından Tablo 1’ de gösterilmiştir.

2.3. Eğitim ve Oyunlaştırma (Education and Gamification)

Eğitim, bir kişinin yetenek, tutum ve diğer davranış biçimlerini geliştirdiği ve öğrendiği süreçlerin tümüne denir. Tüm hayat boyunca devam eder ve ortamdan bağımsızdır. Öğretim ise planlı, programlı ve belli bir amaca yönelik olarak kişilere bilgi ve yetenek aktarmaya çalışılan bir süreçtir. Öğretim eğitimin alt kümesidir (Altuğ, 2017).

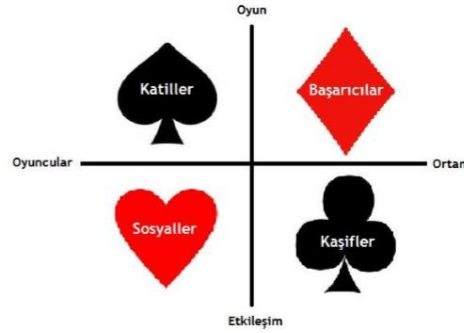


Şekil 2. Werbach'ın Piramitsel Oyunlaştırma Çerçevesi (Werbach, 2016) (Werbach's Pyramid Gamification Framework)

Eğitim ve toplum karşılıklı birbirini etkileyen kavramlardır. Eğitimin toplumun kalkınmasında önemli bir etken olduğu gibi, toplum da eğitimi etkiler. Bu etkileşim süreci bireyler arasındaki farklılıkları da önemli kılmaktadır. Gelişen teknoloji sayesinde, artık teknolojiyle doğan, büyüyen bir nesil mevcuttur. Prensky (2001) bu nesle 'dijital yerliler' adını vermiştir. Bilgiye çok hızlı ulaşabilen, bilgisayar oyunlarını ev ödevlerine, görsel ve videoları düz metin yerine tercih eden, gününün büyük bir bölümünü internette geçiren neslin, ders kitaplarına, tebeşir tahta sistemine uyum sağlaması, öğrenmeye motive olması ve katılması zordur. Bu yüzden eğitime teknolojinin entegre

edilmesi gerekmektedir. Bilgisayar oyunlarının öğrencilerin ilgisini çekmesi, video oyunların eğitimde kullanılırsa başarılı sonuçlar vereceğini göstermektedir.

Şekil 2' de görüldüğü gibi Werbach ve Hunter oyunlaştırma yaklaşımını açıklayabilmek için üç kategoriden oluşan bir oyunlaştırma modeli geliştirmiştir. Bu kategorileri oluşturan oyunlaştırma unsurları; dinamikler, mekanikler ve bileşenlerdir.



Şekil 3. Oyuncu Tipleri (Bartle, 1996; Xu, 2011) (Player Types)

Şekil 3' de oyuncu tipleri gösterilmiştir. Etkileşimli medya ve video oyunları çağında yetişen öğrenciler için sınıf ortamında oyunlaştırmanın ilgi çekici ve motive edici olması kaçınılmaz bir sonuçtur (Glover, 2013).

Oyun tasarımının eğitim sürecine aktararak öğrencilerin dikkat ve motivasyonun artırılması ile başarılarının ve derse yönelik tutumlarının olumlu yönde etkilenmesi eğitimin oyunlaştırılması olarak tanımlanabilir (Yıldırım, 2016).

2.4. Algoritma Kavramı (Algorithm Concept)

Algoritma bir sorunun çözümü için, sonlu sayıda adım biçiminde iyice tanımlanmış, sonlu bir kurallar kümesi anlamına gelmektedir (Köksal,1981). Programlamada adım adım işlem basamaklarının yazılması işlemi algoritma olarak adlandırılır. Bu sayede ilk bakışta karmaşık görünen problemler daha küçük parçalara ayrıldığı için, öncekine oranla daha kolay çözülebilir hale gelmektedir. Programlamanın yanı sıra matematikte ve günlük hayatta birçok işlemi farkında olmadan algoritmalar yoluyla yapmaktayız. Bu yüzden çocukların algoritma deneyimlerini artırmak, problem çözme becerilerini büyük ölçüde geliştirecektir. Bu da ilerleyen yıllardaki eğitim hayatlarında ve günlük yaşamlarında da farklı düşünebilmelerine yardımcı olacak ve işlemleri daha hızlı yapabilmelerini sağlayacaktır. Günlük hayattan bir örnekle algoritma mantığını açıklamak gerekirse çay demleme işleminin algoritması aşağıdaki gibi yazılabilir.

- 1.Adım: Çaydanlığın alt kısmına suyu doldur.
- 2.Adım: Çaydanlığı ocağa koy.
- 3.Adım: Ocağı yak.
- 4.Adım: Suyun kaynayıp kaynamadığını kontrol et.
- 5.Adım: Su kaynamaya başlamışsa çaydanlığın üst kısmına çayı ekle, başlamamışsa 4.Adım'a dön.
- 6.Adım: Çayın üzerine sıcak suyu ekle.
- 7.Adım: Ocağı söndür

2.5. Erken Çocukluk Dönemi (Early Childhood Period)

Erken çocukluk dönemi okul öncesi dönemi de içine alan 2-6 yaş arasına denk gelen 4 yılı ifade eder (Şişman, 2016). Çocukların öğrenmeye en açık olduğu dönem erken çocukluk dönemi olduğu için eğitimlerinde izlenecek yol büyük önem kazanmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, 17 yaşına kadarki zihinsel gelişimin %50' sinin 4 yaşına, %30' unun ise 4 yaşından 8 yaşına kadar oluştuğu, 18 yaşına kadar gösterilen okul başarılarının %33'ünün 0-6 yaşına kadar aldıkları eğitime bağlı olduğu görülmüştür (Tekiner, 1996).

Görüldüğü gibi zihinsel gelişimin yarısı bu dönemde gerçekleşmektedir. Bu yüzden erken çocukluk döneminde çocuklara kazandırılacak beceriler oldukça önemli hale gelmektedir. Okul öncesi dönem yaşamın diğer dönemlerine nazaran ihmale hiç tahammülü olmayan bir dönemdir. Gelişimin doğum öncesinden sonra en hızlı olduğu bu dönemin hasarları kalıcı ve yaşama yön verici olmaktadır (Koçyiğit vd., 2007).

Çocuk yaşamı için gerekli olan birçok bilgi ve becerileri oyun ortamında öğrenmektedir. Çocuk için yaşamı öğrenme aracı olan oyun büyük öneme sahiptir. Oyun oynarken çocuk mutlu olur. Çocuğun büyümesi ve sağlıklı gelişmesi için beslenme, sevgi ve bakım ne kadar gerekliyse oyun da o kadar gereklidir (Koçyiğit vd., 2007).

Oyun temelde okul öncesi çocukların içinde yaşadığı toplumsal çevrelerini yeniden biçimlendirdikleri, yeniden ürettikleri çocuğa özgü bir etkinliktir (Sevinç, 2005).

Erken çocukluk döneminde oyun, çocuğun gelişimi ve eğitimi için bu kadar önemliyken, farklı teknikler ve ortamlar tasarlanarak daha kalıcı öğrenmeler sağlanabilir. Bu tekniklerden biri de oyunlaştırma. Oyun dışı içeriklerde oyun tasarımının kullanılması olarak tanımlanan oyunlaştırma; reklam, ticaret, eğitim gibi birçok alana uygulanabilir. Oyun tasarımı ile öğrencilerin motivasyonunu ve bağlılığını arttıran oyunlaştırma, öğrencilerin derse olan ilgilerinde de pozitif bir etkiye sahiptir. İlgi ve motivasyonu artan öğrencinin akademik başarısı da artacaktır (Yıldırım ve Demir, 2014).

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışma nitel araştırma yöntemlerinden eylem araştırması olarak yürütülmüştür. Nitel araştırma gözlem, görüşme ve doküman analizi gibi nitel bilgi toplama yöntemlerinin kullanıldığı, algıların ve olayların doğal ortamda gerçekçi ve bütüncül bir biçimde ortaya konulmasına yönelik nitel bir sürecin izlendiği araştırmadır. Eğitim alanındaki problemler genel bulgulardan çok açıklayıcı, derinlemesine ve ayrıntılı bilgiler gerektirir. Nitel araştırma yöntemleri derinlemesine ve ayrıntılı bilgileri gerektiren bu türden araştırma problemlerini incelemede eğitim araştırmalarına önemli çıkış noktaları sunmaktadır (Yıldırım, 1999).

Eylem araştırması bilimsel araştırma yöntemleri ile gelişim ve değişime yönelik uygulamaları birleştiren bir yaklaşımdır. Diğer araştırma yaklaşımlarından temel farklılığı eylem araştırmasının, eğitimsel gelişim ve değişimi doğrudan araştırma süreci içerisinde gerçekleştirmeyi amaçlamasıdır (Norton, 2009). Eylem araştırmasının en yaygın kullanıldığı alanlardan biri eğitimidir. Eylem araştırması uygulamacıların ve öğretmenlerin işlerini daha iyi anlamasına yardımcı olan bir araştırma türüdür (Glanz,1999). Eylem araştırması, gerçek okul ya da sınıf ortamında öğretimin kalitesini anlamak ve geliştirmek amacıyla, önceden planlanmış, organize edilmiş ve diğer kişilerle paylaşılabilen bir araştırma türüdür (Johnson, 2003).

Şekil 4' de geliştirilen yazılım için hazırlanan oyunlaştırma hikâye görselleri, Şekil 5' de ise hazırlanan rozet görselleri verilmiştir.



Şekil 4. Oyunlaştırılmış Süreç için Hazırlanan Görseller (Visuals Prepared for the Gamified Process)

Eğitim uygulamalarını düzeltmek için eylem araştırmalarının önemi büyüktür. Eğitimde eylem araştırması, eğitim uygulamalarını anlamak, değerlendirmek ve daha sonra değiştirmek ve iyileştirmek için yapılan araştırmalardır (Köklü, 2001). Eylem araştırmaları sorunla ilgili bilgi toplamayı, kaynak taramayı, sorunu çözücü eylemlerle gelişmeyi ve iyileştirmeyi sağlamak amacıyla döngüsel bir desenle gerçekleştirilir. Araştırma sürecinde gerçekleştirilen sistematik toplantılarda ortaya çıkan sorunlar incelenir. Kişiler konuyla ilgili düşüncelerini, bilgilerini, sorulara önerdikleri çözümlerini ve sonuçlarını paylaşırlar. Bu yolla araştırmanın amaçlarını gerçekleştirmek için yeni eylem planı tasarlanır (Mills, 2003, Akt. Uzuner, 2005).

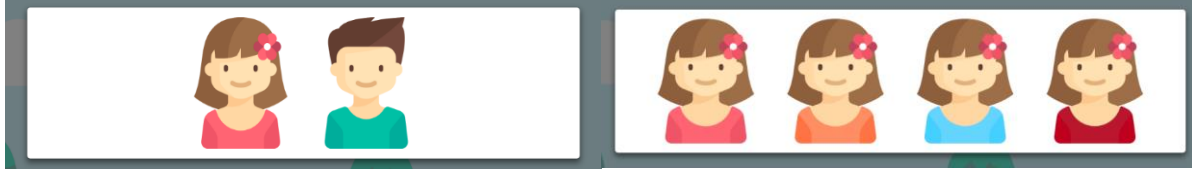


Şekil 5. Hazırlanan Rozetlerin Görselleri (Images of Prepared Badges)

Çalışmanın uygulama aşaması 14 haftalık öğretim dönemi sürecinde 8 hafta olarak sürdürülmüştür. Sürecin bu şekilde çalışma başlangıcında planlanma nedeni; yaş grubu itibari ile öğrencilerin süre uzadıkça motivasyonlarının kaybolabilmesi, algoritma kavramı ile ilgili bölümlerin bu süreçte tamamlanmasıdır. Araştırmada oyunlaştırma

uygulamalarının denenmesi, eksikliklerin belirlenerek düzeltilmesi ve yeniden yapılandırılması amaçlanmış ve bu sebeple eylem araştırması yöntemi kullanılmıştır. Belirtilen eylem araştırması planına göre, çalışma iki aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada çocukların görerek, dokunarak öğrenebilecekleri hikâyeler ve rol oynama tekniğinden faydalanılarak algoritma kavramı öğretilmeye çalışılmıştır. Hikâyelerdeki resimleri sıralamaları istenmiş, uygulama sırasında gözlemler yapılarak, notlar alınmıştır. Alınan notlar ile bir uzmana danışılmış, varsa eksiklikler belirlenmiş ve bir sonraki hafta düzenlemeler yapılarak devam edilmiştir.

Oyunlaştırma uygulamasının bir parçası olarak hazırlanan avatarlar ve avatar özelleştirme çalışmaları Şekil 6' da verilmiştir.



Şekil 6. Hazırlanan Avatar Özelleştirme (Prepared Avatar Customization)

Çalışmanın ikinci aşamasında, hikâyelerdeki gözlemlerin ve uzman görüşünün sonucuna göre hazırlanan yazılımın uygulaması yapılmıştır. Yazılımda basit resim çizim aşamaları ve günlük hayattaki olayları sıralamaları istenmiş, uygulanması sırasında da gözlem yapılarak, notlar alınmıştır. Uygulama sırasında yazılımda belirlenen eksiklikler, bir sonraki hafta düzeltilerek devam edilmiştir. Bu esnada sürekli gözlem yapılarak çocukların derse olan motivasyonları ve uygulama süresi gözlem formu ve araştırmacı günlükleri ile kayda alınmıştır. Gözlem formu ve kontrol listesi uzman görüşü alınarak hazırlanmıştır. Uygulama süreci içerisinde araştırmacı günlükleri ve gözlem formu değerlendirilmesinde, sürecin iyileştirilmesi çalışmalarında uzman görüşünden yararlanılmıştır. Uygulama sonucunda kontrol listesinden yararlanılarak, sonuçlar değerlendirilmiştir. Verilerin toplanması, çözümlenmesi aşamasında yansız olunmaya çalışılmıştır. Verilerin güvenilirlik çalışmalarında uzman görüşü alınmıştır.

3.1. Çalışma Grubu (Working Group)

Araştırmanın çalışma grubunu Konya Ereğli Bil Koleji'nde Anaokulunda öğrenim gören, 12 öğrenci oluşturmaktadır. Çalışma grubu özellikleri Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışma Grubu Özellikleri (Working Group Features)

ÇALIŞMA GRUBU	SAYI
Toplam Öğrenci	12
Cinsiyet	
Kadın	3
Erkek	9
Yaş	
4-5 yaş	2
5-6 yaş	10

Araştırma 2018-2019 Eğitim-Öğretim yılı güz döneminde kodlama dersi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışma grubu olarak okul öncesi dönem çocuklarının seçilme nedeni, okuma yazma bilmeyen grup için algoritma eğitiminde kullanılacak bir yazılımın bulunmamasıdır. Ayrıca oyunlaştırma öğelerinden faydalanılarak oluşturulan kodlama etkinliklerinin okul öncesi dönem öğrencilerinde diğer öğrenci gruplarına göre daha etkili olacağı düşünüldüğünden okul öncesi dönem çocukları çalışma grubu olarak tercih edilmiştir. Bu dönemde verilen eğitimlerin kalıcı öğrenmeler sağlaması, ileriki eğitim-öğretim hayatlarında faydalı olacağı düşüncesi de diğer bir nedendir.

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

Çalışmanın bu bölümünde; uygulama sürecinde gözlem, araştırmacı günlükleri, kontrol listelerinden elde edilen veriler kapsamında ortaya çıkan bulgular sunulmuştur.

Hikâye anlatımında gözlem formundan elde edilen bulgular altta yer almaktadır. Bu bulgular çalışmanın amaçlarında yer alan okul öncesi dönem çocuklarının algoritma kavramını öğrenmesindeki bireysel gelişimleri ve bir problemin çözümündeki analiz yapma ve sıralı düşünme becerilerinin geliştirilmesinde önem taşımaktadır.

Algoritmaya ait hikâyeler anlatılırken öğrencilere, resimlerle desteklenerek basamak basamak konu sıralaması şeklinde anlatılmıştır. Öğrencilerin genelde konu içeriğine odaklandıkları ve resimlerin sıralamasını dikkatli bir şekilde izledikleri gözlenmiştir. Aynı hikâyeye öğrencilere anlatılırken, karışık bir şekilde verilen hikâyenin resimlerini sıralamaları istenmiş, öğrenciler gözlem yeteneklerini göstermişler, resimleri doğru biçimde sıraladıkları gözlenmiştir. Bu durum öğrencilerin hem konuya ilgili olduklarını hem de resimleri doğru sıra ile dizerek istekli olduklarını göstermiştir.

Uygulamanın ilk haftasında resim sayısının fazla olmasından dolayı zorlandıkları gözlenmiş, resim sayısı azaltıldığında uygun şekilde sıralayarak başarılı oldukları gözlenmiştir. Bazı öğrenciler bu sıralamayı yaparken aceleci davranışlar ancak hata yapmamışlardır.



Şekil 7. Hazırlanan Örnek Olay Sıralaması (Prepared Case Study Sequence)

Şekil 7' de görülen öğrencilerin resimleri sıralaması sırasında kurallara bağlı kaldıkları gözlenmiştir. Bazı öğrencilerin, arkadaşları sıralama yaparken yardım etmek istedikleri gözlenmiş, bu durum nazikçe engellenmiştir. Sıralamayı doğru yapan çocuğa, oyunlaştırma unsurlarından cinsiyetine uygun renkte verilen rozetin, çocukların dikkatlerini çektiği ve motivasyonlarını canlı tuttuğu gözlenmiştir.

Yazılım uygulamasında gözlem formundan elde edilen bulgular altta yer almaktadır. Bu bulgular okul öncesi dönem çocuklarının dikkat, motivasyon ve odaklanma sürelerindeki değişimler ve günlük hayattaki problemlerin çözümünde yaratıcı düşünme ve farklı çözümler üretmelerine katkı sağlama amacına hizmet etmektedir.

Algoritmaya ait yazılım uygulamasında, basit resim çizim aşamaları ve günlük hayattaki olaylar sıralaması akıllı tahta üzerinden yaptırılmıştır. Yazılım uygulamasında, öğrencilerin resim çizimleri dikkatlerini çektiği, sıralamayı yaparken dikkatli ve heyecanlı oldukları gözlenmiştir.

Basit resim çizim aşamalarında zorlanmadıkları ve ödülün motivasyonlarını canlı tuttuğu gözlenmiştir. Olaylar sıralamasında bazı öğrencilerin yavaş yaptıkları, resimleri sıralamak için düşündükleri gözlenmiştir. Sıralama yaparken bazı öğrencilerin aceleci davranarak yanlış sıralama yaptıkları, ancak bir sonraki denemelerinde sıralamayı doğru yaptıkları gözlenmiştir.

Öğrencilerin uygulama sırasında kurallara bağlı kaldıkları gözlenmiştir. Bazı öğrencilerin uygulama sırasında arkadaşlarına yardım etmek istedikleri gözlenmiş, bu durum nazikçe engellenmiştir.

Basit resim çizim aşamalarından sonra, ödül olarak boyama yapmaları öğrencileri mutlu etmiş, bir sonraki hafta boyamaları heyecanlı bir şekilde öğretmene gösterdikleri gözlenmiştir.

Günlük hayattaki olaylar çizim aşamalarında, doğru sıralamasının sonucunda ilk hafta yazılımda çocuklar için farklı ödüllerin çıkması aralarında anlaşmazlık olmasına neden olduğu gözlenmiş, bir sonraki hafta bu durum düzeltilerek hepsine aynı ödül verilmiştir.

Yazılımın uygulanmasında cinsiyetlerine uygun avatar seçimi dikkatlerini çekmiş, doğru sıralama yaptıkça avatari değiştirmelerinin çocukları heyecanlandırdığı gözlenmiştir.

Hikâye anlatımında araştırmacı günlüklerinden elde edilen bulgular Tablo 3' de yer almaktadır. Tablo 3' de görüldüğü üzere uygulamayı yapan öğretmenin günlüğünde öğrencilerin algoritmanın hikâye anlatılarak öğretildiği üç haftalık süreç içerisinde "materyale ilgi düzeyleri" ana temasına ait elde edilen alt temaları "dikkat çekmesi, dikkatin artırılması, yenilik etkisi oluşturması, sınıf yönetiminde kolaylık sağlama, değerler eğitimi ile birlikte sunulması, hikâyeye ait görselleri sıralamak istedikleri ve görsellere dokunarak adımları gerçekleştirmeleri" şeklinde betimlenmiştir.

Tablo 3. Hikâye Anlatımında Hazırlanan Materyale İlgili Düzeyleri (Interest Levels in the Prepared Material in Storytelling)

TEMA	KODLAR
Materyale İlgili Düzeyleri	Dikkat çekmesi
	Dikkatlerini artırılması
	Yenilik etkisi
	Etkili bir sınıf yönetimi sunması
	Değerler eğitimi ile birleştirilerek sunulması
	Hikâye ile ilgili görselleri sıralama istekleri
	Görsellere dokunarak adımları gerçekleştirmeleri

Tablo 4. Etkinlikteki Görevlerin Etkisi (Effect of Tasks in the Event)

TEMA	KODLAR
Etkinlikteki Görevlerin Etkisi	Hikâyeleri dinlerken resimleri sıraladılar
	Her öğrenci kendisine verilen etkinlik görevini yerine getirdi
	Arkadaşları etkinlik görevini yaparken ilgiyle takip ettiler
	Bazı öğrenciler arkadaşlarına yardım etmek istedi
	Verilen görevi yaparken zorlanmadılar

Tablo 4' de görüldüğü üzere uygulamayı yapan öğretmenin günlüğünde öğrencilerin algoritmanın hikâye anlatılarak öğretildiği üç haftalık süreç içerisinde "etkinlikteki görevlerin etkisi" ana temasına ait elde edilen alt temaları "resimleri sıralamaları, verilen görevi yapmaları, ilgili olmaları, yardım etmek istemeleri, zorlanmadan görevi yapmaları" şeklinde betimlenmiştir.

Tablo 5. Oyunlaştırma Öğeleri (Gamification Elements)

TEMA	KODLAR
Oyunlaştırma Öğeleri	Cinsiyetlerine uygun renkte rozetin dikkat çekmesi
	Rozetin çocukları heyecanlandırması
	Ödülün motivasyonu canlı tutması
	Rozet kazanmak istemeleri
	Ödül kazanmak için sıralama yapmak istemeleri

Tablo 5' de görüldüğü üzere uygulamayı yapan öğretmenin günlüğünde öğrencilerin algoritmanın hikâye anlatılarak öğretildiği üç haftalık süreç içerisinde "oyunlaştırma öğeleri" ana temasına ait alt temaları "rozetin dikkat çekmesi, rozetin heyecanlandırması, motivasyonlarının sürekli olması, rozet kazanma istekleri, sıralama yapmak istemeleri" şeklinde betimlenmiştir.

Yazılım uygulamasında araştırmacı günlüklerinden elde edilen bulgular Tablo 6' da verilmiştir. Tablo 6' da görüldüğü üzere uygulamayı yapan öğretmenin günlüğünde öğrencilerin algoritmanın yazılım uygulanarak öğretildiği üç haftalık süreç içerisinde "materyale ilgi düzeyleri" ana temasına ait elde edilen alt temaları "dikkatlerini çekmesi, ilgilerinin canlı olması, heyecanlı olmaları, renk uyumlarının uygun olması, akıllı tahtada yapmak için istekli olmaları, yenilik etkisi, etkili sınıf yönetimi" şeklinde betimlenmiştir.

Tablo 6. Oyunlaştırma Uygulamasında Materyale İlgili Düzeyleri (Interest Levels in the Prepared Material in Gamification Application)

TEMA	KODLAR
Materyale İlgili Düzeyleri	Çizimlerin dikkatlerini çekmesi
	İlgilerinin canlı olması
	Heyecanlı olmaları
	Renk uyumlarının uygun olması
	Akıllı tahtada yapmak için istekli olmaları
	Yenilik etkisi
Etkili bir sınıf yönetimi sunması	

Tablo 7' de görüldüğü üzere uygulamayı yapan öğretmenin günlüğünde öğrencilerin algoritmanın yazılım uygulanarak öğretildiği üç haftalık süreç içerisinde "etkinlikteki görevlerin etkisi" ana temasına ait elde edilen alt temaları "resimleri sıraladılar, zorlanmadılar, düşünerek yaptılar, aceleci davranarak hata yapsalar da doğru sıraladılar, dikkatle izlediler, yardım etmek istediler" şeklinde betimlenmiştir.

Tablo 7. Etkinlikteki Görevlerin Etkisi (Effect of Tasks in the Event)

TEMA	KODLAR
Etkinlikteki Görevlerin Etkisi	Yazılım uygulamasında resimleri sıraladılar
	Basit resim çizim aşamalarında zorlanmadılar
	Günlük hayattaki olayların sıralamasını düşünerek yaptılar
	Aceleci davranarak hata yaptılar, düzelterek doğru sıraladılar
	Arkadaşları sıralama yaparken dikkatle izlediler
	Bazı öğrenciler arkadaşlarına yardım etmek istedi

Tablo 8. Oyunlaştırma Öğeleri (Gamification Elements)

TEMA	KODLAR
Oyunlaştırma öğeleri	Ödülün heyecanlandırması
	Ödül kazanmak için sıralama yapmak istemeleri
	Arkadaşlarıyla farklı ödüllerin anlaşmazlık yaratması, aynı ödülün mutlu etmesi
	Cinsiyetlerine uygun avatarın dikkat çekmesi
	Sıralama yaptıkça avatarı özelleştirmenin, çocukları heyecanlandırması

Tablo 8’ de görüldüğü üzere uygulamayı yapan öğretmenin günlüğünde öğrencilerin algoritmanın hikâye anlatılarak öğretildiği üç haftalık süreç içerisinde “oyunlaştırma öğeleri” ana temasına ait alt temaları “ödülün heyecanlandırması, sıralama yapmak istemeleri, farklı ödüllerin anlaşmazlık yaratması, cinsiyetine uygun avatarın dikkat çekmesi, avatarı özelleştirmenin heyecanlandırması” şeklinde betimlenmiştir.

Uygulama sürecinin sonunda elde edilen bulgular Tablo 9’ da verilmiştir. Çalışmanın uygulama sürecinin sonunda, verilmek istenen kazanımların yer aldığı kontrol listesi hazırlanmıştır. Hazırlanan kontrol listesiyle her çocuğa, kazanımları belirleyebilecek sorular sorulmuştur. Alınan cevaplar var/yok şeklinde belirlenmeye çalışılarak, uygulama sürecinin sonucu değerlendirilmeye çalışılmıştır. Aşağıda hazırlanan tabloda, sorular ve sorulara evet/hayır diyen çocuk sayısı yorumlanmaya çalışılmıştır.

Tablo 9. Kontrol Listesi Analizi (Checklist Analysis)

KAZANIMLAR	EVET	HAYIR
Algoritma kavramını sözel ifadeler kullanarak açıklar.	10	2
Algoritmanın hangi amaçla kullanıldığını bilir.	9	3
Algoritmada sıralamanın önemini ifade eder.	11	1
Günlük hayatta sıralamaya uygun örnekler verir.	10	2
Günlük hayattaki işlerin sıralamaya bağlı olarak yapıldığını kavrar.	11	1
Bir problemin çözümünde sıralamanın önemini bilir.	11	1
Bir problem durumunu parçalara ayırarak sırayla çözer.	11	1

Tablo 9’ da görüldüğü üzere; 1. soruda çocuklara “algoritma nedir?” sorusu sorulmuş ve bu soruya 10 tane çocuk “sıra, sıra yapmak” cevaplarını verirken, 2 çocuk soruyu doğru cevaplayamamıştır.

2. soruda “algoritmayı neden kullanırız?” sorusu sorulmuş ve bu soruya 9 çocuk “işlerimizi sıraya koymak, bir işi sırayla yapmak” cevaplarını verirken, 3 çocuk soruyu doğru cevaplayamamıştır.

3. soruda “algoritmada sıralama önemli mi? Sıra olmazsa işlerimiz yapılır mı?” sorusu sorulmuş ve bu soruya 11 çocuk “evet önemli” cevabını vermiş, 1 çocuk özel durumundan dolayı doğru cevaplayamamıştır.

4. soruda “günlük hayatımızla hangi işlerimizi sırayla yaparız?” sorusu sorulmuş ve bu soruya 10 çocuk “dişlerimizi fırçalamak, okula gelmek, yemek sırasına girmek, televizyonu açmak” gibi örnekler verirken, 2 çocuk soruyu doğru cevaplayamamıştır.

5. soruda “günlük hayattaki işlerimiz sıra olmazsa yapılır mı?” sorusu sorulmuş ve bu soruya 11 çocuk “hayır yapılmaz” cevabını verirken, 1 çocuk özel durumundan dolayı soruyu doğru cevaplayamamıştır.

6. soruda “dişlerimizi fırçalarken sıra olmazsa dişlerimizi fırçalayabilir miyiz? Televizyonumuzu açarken fişi takmazsak televizyonumuz açılır mı?” gibi günlük hayattan problem durumları sorulmuş ve bu soruya 11 çocuk “hayır fırçalayamayız, televizyonumuz açılmaz” gibi cevaplar verirken, 1 çocuk özel durumundan dolayı doğru cevaplayamamıştır.

7. soruda “diş fırçalama, akıllı tahtayı açma, lavaboya gitme gibi günlük hayattan yaptığımız işlemlerin” sırası sorulmuş ve bu işlerin adımlarını 11 çocuk doğru bir şekilde söylerken, 1 çocuk özel durumundan dolayı doğru cevaplayamamıştır.

8. soruda “sınıf içerisinde kapıdan masaya ulaşmak için hangi yollar var?” sorusu sorulmuş, 7 çocuk masaya ulaşmak için birden fazla gidilebilecek yol gösterirken, 5 çocuk “başka bir yol yok” cevabını vermiştir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Programlama ya da kodlama için bir çeşit problem çözme yöntemi denilebilir. Programlama ile var olan bir probleme çözüm üretilir. Öğrenciler de kodlama yaparak, var olan problemlere çözümler üreterek problem çözme becerilerini ve bunu teknoloji aracılığı ile birleştirerek, benzer durumlara transfer ederek, bilgi işlemsel düşünme becerilerini geliştirirler. Bu yüzden bilişim teknolojilerini okul öncesi eğitime entegre etmek faydalı olacaktır. Amaç geleneksel eğitimden kopmak ya da ayrılmak değil, aksine oyun tabanlı pedagojiyi desteklemek ve öğretmenlere yardımcı olmaktır (Odacı ve Uzun, 2017). Odacı ve Uzun (2016) yürüttükleri çalışmada, okul öncesi dönem çocukları için kodlama eğitiminin önemli olduğunu, hayatlarının her alanında çocuklara faydalı olabilecek becerilerin kazandırılması amacıyla kodlama eğitiminin önemli olduğunu söylemişlerdir. Ancak bu eğitim için kullanılacak araçların yetersiz olduğunu da belirtmişlerdir. Kodlama için bilgisayarsız kodlama etkinliklerinin tercih edildiğini, ancak bilgisayar etkinlikleriyle desteklendiğinde öğrencilere bilgisayarca düşünme becerilerinin kazandırılacağına söylemişlerdir.

Bu çalışmada, önceki yapılmış araştırmalar ve bu çalışmaların önerilerden yola çıkılarak, algoritma eğitimi sırasında bilgisayarsız kodlama etkinliği olarak hikâyeler, bilgisayarlı etkinlik olarak yazılımın oyunlaştırması yapılmıştır. Oyunlaştırma temelli algoritma eğitiminin okul öncesi dönem çocuklarının, algoritma kavramını öğrenmesi, motivasyon ve dikkat sürelerindeki değişimleri belirlemek için yürütülen çalışmada on iki öğrenci ile çalışılmıştır.

Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre, oyunlaştırmanın çocuklar üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu görülmüştür. Çocukların algoritma ve sıra kavramını öğrendikleri, hatta bazı çocukların derslerde okudukları hikâyelerin resimlerine “bu bir algoritma ve burada sıra yapmışlar” dedikleri sınıf öğretmenleri tarafından gözlenmiştir. Yürütülen çalışmada oyunlaştırma öğelerinin çocukların motivasyonlarını canlı tuttuğu, ödül kazanmak için verilen görevi tekrar yapmak istedikleri görülmüştür. Bu noktadan hareketle oyunlaştırma öğelerinin bu yaş grubu üzerinde olumlu etkiler yarattığı söylenebilir.

Oyunlaştırma uygulamaları gerçekleştirilmesiyle üç temel sonuç ortaya çıkmaktadır. Bunlar; uygulamalar sonucunda motivasyonun sağlanması, olumlu psikolojik gelişimlerin görülmesi ve kişilerde istenilen davranışsal değişimlerin artmasıdır (Fiş Erümit, 2016).

Papadakis, Kalogiannakis ve Zaranis (2016) tarafından yapılan çalışmada Scratch Jr. kullanımının okul öncesi eğitimde temel programlama ve bilişimsel düşünme becerilerine etkisini araştırmışlardır. Araştırmanın sonucunda Scratch Jr. öğrencilerin ilgisini arttırdığı, senaryoların öğrencilerin etkinliklere katılımını artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Fessakis, Gouli ve Mavroudi (2013) 5-6 yaş grubu için yürüttükleri çalışmada, bilgisayar programlama yardımıyla problem çözme boyutlarına ilişkin bir örnek olay incelemesi yapmışlardır. Araştırmanın sonucuna göre çocuklar ilgi çekici faaliyetlerden hoşlanarak, bilgisayar programlamanın matematiksel kavramlar, problem çözme ve sosyal becerileri geliştirme konusunda olumlu etkileri olduğunu söylemişlerdir. Çetin (2012) yürüttüğü çalışmada, çocuklar için bilgisayar programlama eğitiminin problem çözme becerileri üzerine etkisini incelemiştir. Araştırmanın sonucuna göre çocuklar için bilgisayar programlama eğitiminin uygulanabilir olduğu, programlama eğitiminin çocukların problem çözme becerilerine olumlu yönde katkı sağladığı belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada da görüldüğü üzere öğrenciler bir problem durumunu adımlara ayırarak çözmeyi başarabilmiş ve karşılıklarına çıkan problemleri farklı yoldan çözmeyi öğrenmişlerdir. Kodlama işlemlerinin temelinde yatan algoritma mantığını kavramalarında bu problem çözme becerileri öğrencilerin daha hızlı öğrenmesini sağlayacaktır. Yürütülen çalışmanın sonuçları, Fessakis ve arkadaşları (2013), Çetin (2012) ve Papadakis, Kalogiannakis ve Zaranis (2016) tarafından yapılan çalışmalarla benzer sonuçlar göstermiştir.

Okul öncesi çocuklara kodlama eğitimi verilirken bilgisayarlı ve bilgisayarsız olmak üzere faydalanılabilecek iki yöntem vardır. İki yöntemin de kendine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Uzmanlardan alınan görüşler doğrultusunda bu çalışmada sürecin bir kısmı bilgisayarsız kodlama etkinliklerinden, bir kısmı da bilgisayarlı kodlama etkinliklerinden oluşacak şekilde tasarlanmış ve sürecin geneline de oyunlaştırma öğeleri entegre edilmiştir. İlk haftalarda bilgisayarsız kodlama etkinlikleri yani hikâye anlatımları ile algoritmanın tanımı ve işlevleri öğretilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte öğrencilerin hikâyeleri dikkatle dinleyip tepki verdikleri görülmüş, resim sıralamalarında da hevesli bir şekilde aktiviteye katılmışlardır. Hikâye anlatım etkinliklerinde

öğrencilere motivasyonlarını arttırmak için rozetler verilmiştir. Bu rozetler sayesinde etkinliğe katılımları sağlanmış ve etkinlik için motivasyonlarının arttığı gözlenmiştir.

Hikâye anlatım etkinliklerinin bitmesinden sonra akıllı tahta üzerinden bilgisayarlı kodlama etkinliklerine başlanmış ve gerçek hayatta yaptıkları sıralamaların benzerleri öğrencilerin yaşlarına uygun çizimlerle yazılım ortamına aktarılmıştır. Bu aşamada verilen ödüller de uygulama ortamından dolayı değişmiştir. Ödül olarak öğrencilerin kendi kullanıcı resimlerini (avatarlarını) özelleştirmesine ve süreci başarıyla tamamlayan öğrencilerin seçilen oyunlardan oynamasına izin verilmiştir. Etkinlik dijital ortama geçtiğinde soyut düşünme becerisi normalden daha önemli hale gelmektedir. Fakat yazılım geliştirilirken öğrencilerin yaşlarına uygun materyallerle desteklendiği ve okul öncesi çocuklara uygun ödüllerle yapılandırıldığı için öğrenciler etkinlikleri öncekinden daha istekli bir şekilde yapmaya çalışmışlardır. Hikâye anlatımlarının bulunduğu aşamaya göre daha hevesli ve istekli oldukları gözlenmiştir.

İki uygulama yönteminde de ortamın izin verdiği ölçüde öğrencilerin sürece katılımları sağlanmaya çalışılmıştır. Akıllı tahta kullanılan bilgisayarlı öğretim etkinliklerinde öğrencilerin ilk etaba göre daha istekli ve dikkatli olmalarının yazılımda kullanılan görsellerin özel olarak tasarlanmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yine benzer şekilde yazılımın kullanıldığı etkinliklerde ödül olarak verilen oyun oynama hakkı da öğrencilerin sürece ilgisini arttırmıştır. Yazılım içerisinde tekrar tekrar deneme imkânı öğrencilerin doğrusunu öğrenene kadar işlemleri tekrar etmesine olanak sağlamıştır. Bu sayede sıkılmadan işlemleri tamamladıkları görülmüştür. Her denemelerinde farklı deneyim yaşamalarının bunu sağladığı düşünülmektedir. İki ortamın uygun formatlarda kullanımı sayesinde öğrencilere hem dokunup hissedebilecekleri fiziksel aktiviteler yapma imkânı verilmiş hem de kodlamanın gerçekleştiği teknolojik ortamlarla etkileşime girmeleri sağlanmıştır. Uygulama süreci ele alındığında elde edilen bulgulara bakılarak hem bilgisayarlı hem de bilgisayarsız etkinliklerin kullanılmasının öğrencilerin öğrenmelerine daha fazla katkı sağladığı düşünülmektedir.

Esnek ve okul öncesi öğrencilere uygun şekilde tasarlanan kodlama eğitimi ortamlarının çeşitlenmesi sağlarsa hem öğrencilerin daha fazla sürece dâhil edilmelerinin mümkün olacağı hem de öğretmenlerin kodlama öğretirken daha az zorlanacağı düşünülmektedir. Bu çalışma da okul öncesi öğrencilerin kodlama eğitiminde oyunlaştırma öğelerinden faydalanmasının sürece etkileri araştırılmıştır. Elde edilen bulgular ışığında özellikle okul öncesi dönemde yapılan kodlama eğitimlerinde oyunlaştırma tekniklerinden faydalanılmasının faydalı olacağı ve kullanılabilir materyallerin çeşitlenmesini sağlayacağı düşünülmektedir.

6. Öneriler (Suggestions)

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular ve sonuçlar çerçevesinde yapılan öneriler aşağıda yer almaktadır. Okul öncesi dönem çocukları, hikâye sırasında eşleştirme yaparken resim sayısının fazla olmasından dolayı sıralama yaparken zorlanmışlardır. Bu dönem çocuklarına hikâye ve resim eşleştirmesi yaptırılmak isteniyorsa, resim sayısı 4 ya da 5 tane olacak şekilde belirlenmelidir.

Çocukların verilen görevleri yapmaları sonucunda birinci olan çocuğa sınıf başkanı ilan etme, yetki verme ya da birinci olan çocuğun isteğine göre oyun oynanması gibi belirlenen ödüllerin bu dönem çocukları için uygun olmadığı gözlenmiştir. Bu dönem çocuklarına bir ödül verileceği zaman hepsine aynı ödül olacak şekilde belirlenmelidir.

Yazılım uygulanması sırasında sıralama yapan çocuğa, ödül olarak oyun verilmiştir. Ancak yazılımın her çocuğu farklı oyuna yönlendirmesinin aralarında anlaşmazlık ortaya çıkardığı tespit edilmiştir. Bu dönem çocuklarına oyun olarak bir ödül verilmek istendiğinde hepsine aynı oyun olacak şekilde belirlenmelidir.

Oyunlaştırılmış öğrenme ortamında yazılımın uygulanması sırasında, çocukların avatar seçiminden ve avatar üzerinde değişiklik yapabilmekten zevk aldıkları tespit edilmiştir. Bu dönem çocuklarına oyunlaştırılmış öğrenme ortamları tasarımında kendi isteklerine göre değişiklik yapabilecekleri eğlenceli etkinliklere yer verilebilir.

Yazılımın uygulanması sırasında akıllı tahtada uygulama yapılması, çocukların motivasyonlarını canlı tuttuğu tespit edilmiştir. Bu dönem çocuklarına yazılım geliştirmek istenirse, akıllı tahta destekli ya da mobil destekli olacak şekilde geliştirilebilir.

Çalışmanın uygulanması sırasında, çocuklara ödül olarak belirli bir zaman diliminde oyun oynama hakkı verilmesinin, çocukların motivasyonlarını canlı tuttuğu, tekrar uygulama yapmak istedikleri tespit edilmiştir. Bu dönem çocuklarına ödül olarak belirli bir zaman diliminde oyun oynama hakkı verilecek şekilde etkinlikler yapılabilir.

Okul öncesi dönem çocukları için bir yazılım geliştirilmek istendiğinde, bu dönem çocuklarına uygun renk uyumuna dikkat ederek çizimler bu çalışmaya da olduğu gibi hazırlanabilir. Yazılımda çizimler puzzle (yap-boz) olacak şekilde geliştirilebilir. Okul öncesi dönem çocuklarına algoritma kavramını öğreten yazılım geliştirilmek istendiğinde, karar ve döngü algoritmalarına yönelik yazılımlar geliştirilebilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Akpınar, Y. ve Altun, A., 2014. Bilgi Toplumu Okullarında Programlama Eğitimi Gereksinimi. *İlköğretim Online*, 13(1), 1-4.
- And, M., 1974. *Oyun ve Bugü Türk Kültüründe Oyun Kavramı*. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul.
- Bartle, R., 1996. Hearts, Clubs, Diamonds, Spades: Players Who Suit Muds. *The Journal of Virtual Environments*, 1(1).
- Burke, B., 2011. Gartner Enterprise Architecture Summit 2011. 29.12.2018 tarihinde alındı.
<http://www.gartner.com/newsroom/id/1629214>
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. & Nacke, L., 2011. From Game Design Elements to Gamefulness: Defining Gamification. 15th International Academic Mindtrek Conference: Envisioning Future Media Environments, Tampere, Finland.
- Glanz, J., 1999. A Primer on Action Research for the School Administrator. *Clearing House*, 72, 301-305.
- Glover, I., 2013. Play as You Learn: Gamification as a Technique for Motivating Learners. In J. Herrington et al. (Eds.). *World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2013*.
- Gülay H., 2010. *Okul Öncesi Dönemde Akran İlişkileri*. Pegem Yayıncılık, Ankara.
- Huizinga, J., 1955. *Homo Ludens: Oyunun Toplumsal İşlevi Üzerine Bir Deneme* (3. Basım Çev. Kılıçbay, M. A.). Ayrıntı Yayınları, İstanbul.
- Johnson, A. P., 2003. *What Every Teacher Should Know about Action Research*. Pearson Education, Inc., Boston.
- Kapp, K. M., 2012. *The Gamification of Learning and Instruction: Game-Based Methods and Strategies for Training and Education*. San Francisco.
- Keskin, A., 2009. *Oyunların Çocukların Çoklu Zekâ Alanlarının Gelişimine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.
- Koçyiğit, S., Tuğluk, M. N. ve Kök, M., 2007. Çocuğun Gelişim Sürecinde Eğitsel Bir Etkinlik Olarak Oyun. *Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 16, 324-342.
- Köklü, N., 2001. Eğitim Eylem Araştırması - Öğretmen Araştırması. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Dergisi*, 34(1-2), 35-43.
- Köksal, A., 1981. *Bilişim Terimleri Sözlüğü*. Türk Dil Kurumu Yayınları.
- Marczewski, A., 2015. *Even Ninja Monkeys Like to Play: Gamification, Game Thinking and Motivational Design*. Gamified UK.
- Norton, L. S., 2009. *Action Research in Teaching and Learning: A Practical Guide to Conducting Pedagogical Research in Universities*. Abingdon: Routledge.
- Odacı, M.M., Uzun, E., 2017. Okul Öncesinde Kodlama Eğitimi ve Kullanılabilecek Araçlar Hakkında Bilişim Teknolojileri Öğretmenlerinin Görüşleri: Bir Durum Çalışması. *Uluslararası Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Sempozyumu (ICITS)*, 715-722.
- Piaget, J., 1962. *Play, Dreams, and Imitation in Childhood*. New York: W.W. Norton.
- Prensky, M., 2001. *Digital Game-Based Learning: Fun, Play and Games. What Makes Games Engaging?* NewYork: McGraw-Hill.
- Saygıner, Ş. ve Tüzün, H., 2017. Erken Yaşta Programlama Eğitimi: Yurt Dışı ve Yurt İçi Perspektiflerinden Bir Bakış. *Uluslararası Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Sempozyumu (ICITS)*, 69-77.
- Sevinç, M., 2005. *Erken Çocuklukta Gelişim ve Eğitimde Yeni Yaklaşımlar*. Morpa Kültür Yayınları, İstanbul.
- Şişman, M., 2016. *Eğitim Bilimine Giriş*. Pegem Akademi, Ankara.
- Tekiner, Ö., 1996. Okul Öncesi Eğitimin Önemi ve Çocuğa Kazandırdıkları. *Milli Eğitim Dergisi*, 132, 10.
- Uzuner, Y., 2005. Özel Eğitimde Örneklerle Eylem Araştırmaları. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Özel Eğitim Dergisi*, 6 (2) 1-12.
- Werbach, K. & Hunter, D. (2012). *For the Win: How Game Thinking Can Revolutionize Your Business*. Wharton Digital Press, Pennsylvania.
- Werbach, K. (2016). *Gamification Course*. Erişim Tarihi: 05.02.2019. <https://www.coursera.org/course/gamification>
- Xu, Y. (2011). *Literature Review on Web Application Gamification and Analytics*. CSDL Technical Report 11-05. Erişim Tarihi: 05.02.2019. <https://www.coursera.org/course/gamification>
- Yavuzer H., 2010. *Çocuğun İlk 6 Yılı*. Remzi Kitapevi, İstanbul.
- Yıldırım, İ., 2016. *Oyunlaştırma Temelli Öğretim İlke ve Yöntemleri Dersi Öğretim Programının Geliştirilmesi, Uygulanması ve Değerlendirilmesi*. Doktora Tezi. Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, Türkiye.
- Yıldırım, A., 1999. Nitel Araştırma Yöntemlerinin Temel Özellikleri ve Eğitim Araştırmalarındaki Yeri ve Önemi. *Eğitim ve Bilim*, 23 (112).
- Yıldırım, İ., Demir, S., 2014. *Oyunlaştırma ve Eğitim*. *International Journal of Human Sciences*, 11 (1), 655-670.
- Yılmaz, E. A., 2017. *Oyunlaştırma*. Abaküs yayıncılık, İstanbul.
- Zichermann, G., Cunningham, C., 2011. *Gamification by Design: Implementing Game Mechanics in Web and Mobile Apps*. O'Reilly Media, Sebastopol.



INVESTIGATION OF FLEXURAL AND ELASTIC BUCKLING BEHAVIOR OF CELLULAR BEAMS

Alırza İlker AĞÖNEN¹, Barış GÜNEŞ^{2*}, Dia Eddin NASSANI³

¹ Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Department of Civil Engineering, Kahramanmaraş, Turkey

² Istanbul University-Cerrahpasa, Department of Civil Engineering, Istanbul, Turkey

³ Hasan Kalyoncu University, Department of Civil Engineering, Gaziantep, Turkey

Keywords

Cellular Beam,
Lateral Torsional Buckling,
Elastic Buckling,
Finite Element Analysis.

Abstract

3D Finite Element Analysis (FEA) was performed to determine flexural and elastic lateral-torsional buckling behavior of cellular beam by using European steel shape and quality. An experimental study from literature was chosen for verification of the Finite Element Model (FEM). Parametric studies were carried out with a verified numerical model to investigate the effect of some geometrical properties of the cellular beam such as hole diameter, hole spacing, and various types of rigidity plates on elastic buckling and flexural capacity of the beam. Geometric and material nonlinear behavior were included in FEM. In the other part of the study, the theoretical calculation method of Lateral Torsional Buckling (LTB) with gross section and with net section properties was also investigated. The study showed that the LTB calculation method given by AISC360-16 and TSDC-2016 design guides provided more accurate result with net cross-section for European steel shapes and quality.

DAİRESEL BOŞLUKLU KİRİŞLERDE EĞİLME VE YANAL BURULMALI BURKULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Anahtar Kelimeler

Dairesel Boşluklu Kiriş,
Yanal Burulmalı Burkulma,
Elastik Burkulma,
Sonlu Eleman Analizi.

Öz

Dairesel boşluklu kirişin eğilme ve elastik yanal burulmalı burkulma davranışını incelemek amacıyla Avrupa profilleri ve çelik kalitesi kullanılarak üç boyutlu sonlu eleman analizi gerçekleştirilmiştir. Literatürden bir deneysel çalışma sonlu eleman modelinin doğrulaması için seçilmiştir. Doğrulanmış sayısal model kullanılarak; delik çapı, delikler arası mesafe ve çeşitli tiplerde rijitlik levhası kullanımı gibi bazı geometrik özelliklerin kirişin eğilme ve elastik burkulma davranışını üzerindeki etkisini incelemek amacıyla parametrik çalışma yürütülmüştür. Sonlu eleman modeline malzeme ve geometrinin doğrusal olmayan davranışı dahil edilmiştir. Çalışmanın diğer bölümünde ise, yanal burulmalı burkulma teorik hesabı brüt ve net kesit özellikleri ile incelenmiştir. Sonuçlar, AISC360-16 ve TSDC-2016 tasarım rehberlerinde verilen hesaplama yönteminin net en-kesit özellikleri ile Avrupa profilleri ve çelik kalitesi için daha doğru sonuç verdiğini göstermiştir.

Alıntı / Cite

Ağönen, A.İ., Güneş, B., Nassani, D.E., (2020). Investigation of Flexural and Elastic Buckling Behavior of Cellular Beams, Journal of Engineering Sciences and Design, 8(3), 869-882.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A.İ. Ağönen, 0000-0001-7384-8764
B. Güneş, 0000-0003-1747-001X
D.E. Nassani, 0000-0002-4196-8822

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	18.03.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	04.08.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	05.08.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Introduction

Castellated beams with circular holes are named as cellular beams (AISC-31, 2017). Cellular beams are produced by cutting steel profiles using a computer-controlled torch. Cuts are made in a circular pattern. Separated two

* İlgili yazar / Corresponding author: bgunes@istanbul.edu.tr, +90-532-748-8810

halves are welded back together from their webs to form a cellular beam. Castellated beams with various hole patterns are widely used in steel structures. Hole geometries are generally preferred as circular and hexagonal shapes. In recent years, usage of perforated beams with sinusoidal openings is also increasingly being used in steel framing systems. The cutting process of a beam with a hexagonal opening is performed in one pass, while the cellular beam is cut in two passes. Therefore, the cutting process for a cellular beam takes a longer time and the cellular beam manufacturing process produces more waste material than the beam with a hexagonal hole.

Cellular beams are widely applied in the roof and floor systems of structures that have wide openings and where the floor height should be limited (Parking structures, etc. Fig. 1) due to mechanical systems (ventilation, air conditioning, heating, etc.). They are also preferred in restoration works owing to its modern appearance.



Figure 1. Parking structure (Arcelormittal, 2020a)

The usage of the castellated beam provides a serious advantage for structure height. Perforated beam web decreases required structure height. A structure consists of 7 stories with ordinary beams can be built as an 8-story building with perforated beams. Thus, fewer stories decrease construction costs and construction time. Early completion of construction moves service time to earlier time. Beams that have a high moment of inertia decrease the need for the required column and foundation element quantity (Arcelormittal, 2020b). Lighter construction with fewer elements will be subjected to less earthquake load.

On the other hand, the stability problem (buckling) takes a very important place for steel perforated beam design. Parallel to advancing technology, material strength is increasing and required element cross-section size is decreasing. Furthermore, the effort to reduce construction weight to minimize construction material cost canalize design engineers to use thin-walled steel elements. Therefore, more attention has to be paid for the buckling problem of steel perforated beam. Elastic lateral-torsional buckling (LTB) can also be critical during the erection of steel structures. Perforated beams are generally preferred at large spans because of their increased carrying capacity. During erection, long perforated beams are subjected to its own dead load and worker live load before the installation of lateral beam supports. At this stage, the lateral movement of the compression flange is not prevented. This case most likely cause elastic lateral-torsional buckling (Bradley, 2003).

Numerical studies, parametric studies, and elastic buckling problems have attracted the attention of many researchers. (Akgöz and Civalek, 2017; Avcar, 2014a; Avcar, 2014b; Civalek and Kiracioglu, 2010). Extensive numerical, analytical, and experimental studies were found in the literature highlighting the flexural and elastic buckling behavior of cellular beams. Tsavdaridis and D'Mello (2011) conducted an experimental and analytical study on the behavior of perforated steel beams with closely spaced web openings. The finite element model (FEM) was established to investigate the effect of web opening spacing/web opening depth of web-posts and web opening depth/web thickness. An empirical formula was proposed to predict the ultimate vertical shear capacity of the web-post. Sweedan (2011) numerically investigated the lateral stability of the cellular beam. A 3D FEM with 2D shell elements was established. Effects of beam geometry and slenderness were studied on simply supported cellular beam which was subjected to various load types. Ellobody (2012) investigated nonlinear analysis of cellular steel beams under combined buckling modes. A 3D FEM with 2D shell elements was established which considers material nonlinearity, residual stress, and initial geometric imperfection of cellular beam. A parametric analysis also performed to study the effect of change in steel strength, cross-section geometry, and beam length on buckling behavior and capacity of cellular beam. Erdal and Saka (2013) ultimate load carrying capacities and finite element analysis of optimally designed steel cellular beams under loading conditions. Specimens were

optimally designed using harmony search method following BS5950 (2000). Experimental work and finite element analysis (FEA) were conducted with NPI profiles and S355 steel quality. El-Sawy et al., (2014) studied moment gradient factor of cellular steel beams under inelastic flexure. A 3D FEM with 2D shell elements was established. Simply supported cellular beam under various load types was considered. Parametric analysis is conducted to evaluate the effect of various geometrical properties on the inelastic stability of cellular steel beams. Pachpor et al., (2015) studied the behavior of cellular beam using design methods according to BS5950, considering the strength of the tee section and web-post element. A cellular beam was designed following BS5950 (2000) and the theoretical calculation result was compared with FEA for verification. Tsavdaridis and Galiatsatos (2015) conducted a parametric finite element analysis investigating closely spaced cellular beams with double concentric transverse stiffeners. Parameters such as (S/D) ratio, stiffener, and web thickness were investigated. Kwani and Wijaya (2017) studied LTB of castellated beams analyzed using the collapse analysis. FEM was analyzed by ADINA 8.9 (2013). At the end of the study, a correction factor for the AISC formula was offered to determine the critical moment of cellular beams. There are other studies in the literature where different types of steel elements are examined by FEA method (Pachideh et al., 2019; Yin et al., 2019; Jiang et al., 2019; Taheri et al., 2019; Roy et al., 2018; Roy and Lim, 2019).

As it is seen in the literature studies, most of the experimental studies on elastic buckling and flexural behavior of cellular beams were conducted with American wide flange steel profiles, American steel quality. Besides, 3D finite element studies presented in literature were conducted by using 2D shell elements. In this study, it was aimed to carry out more sensitive FEA with 3D solid elements for cellular beams to study flexural and elastic buckling behavior of beam by using European steel quality and European steel shapes. In addition, the validity of the theoretical calculation of critical LTB load for a cellular beam with both gross section and net section was studied by using European steel quality and European steel shapes.

2. Material and Method

2.1. Verification Study

Erdal and Saka (2013) conducted twelve experimental studies using NPI240, NPI260, and NPI280 steel profiles. S355 steel quality was preferred for all cellular beams. Specimens were supported as a simply supported beam with an approximately 3-meter span. The vertical force was applied at the mid-point of the beam. In this study, experimental study results conducted with the NPI240 profile is used for verification of FEA. Table 1 shows the dimensional properties of NPI240 based cellular beam and Table 2 ultimate load and failure mode of specimens reported by Erdal and Saka (2013).

Table 1. Dimensional properties of NPI 240 based cellular beam (mm) (Erdal and Saka, 2013)

H _s	B _f	T _f	T _w	D ₀	e	L
355.6	106,00	13,10	8,70	251,00	94,00	2.846,00

Table 2. Ultimate load capacities and failure modes of NPI_240 sections (Erdal and Saka, 2013)

Specimens	Units	NPI240 Test1	NPI240 Test2	NPI240 Test3	NPI240 Test4
Ultimate loads	kN	270,50	273,70	284,10	286,20
Upper flange deflection (U_F_Def)	mm	4,29	3,79	13,89	14,15
Lower flange deflection (L_F_Def)	mm	3,36	3,39	12,99	13,20
Lateral deflection	mm	11,38	12,51	2,47	2,13
Failure mode		LTB	LTB	WPB	WPB

Test 1 and Test 2 graphics show that specimens laterally buckled around 200 kN or (M_{cr}=140 kNm) before reaching ultimate bending capacity due to lack of lateral support. Arrows show the laterally buckled points of the specimens as illustrated in Fig. 2 and Fig. 3 As it is seen, LTB occurred in the elastic region. U_F_Def shows upper flange vertical deflection data, L_F_Def shows lower flange deflection data and Lat_Def shows lateral movement measured using LVDT.

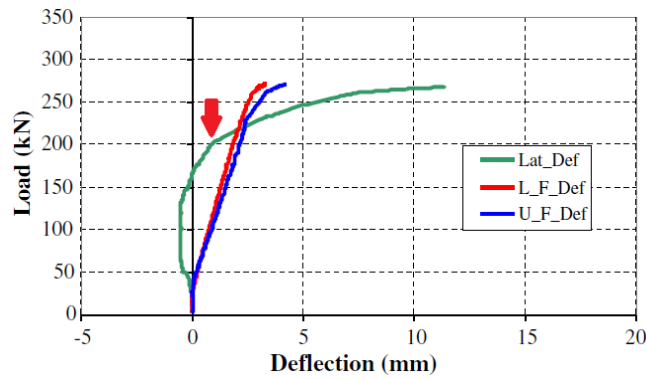


Figure 2. Load deflection graphics for NPI 240 (Test1) (Erdal and Saka, 2013)

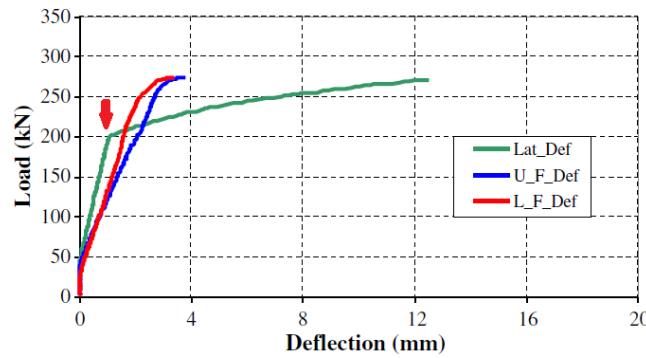


Figure 3. Load deflection graphics for NPI 240 (Test2) (Erdal and Saka, 2013)

2.2. Lateral Torsional Buckling (LTB) Behavior of Cellular Beams

LTB generates two kinds of stresses which are Saint Venant and Warping stresses. While Saint Venant stress occurs due to the rotation of section about a longitudinal axis, warping stress occurs due to the torsion of the section about a vertical axis (Timoshenko and Gere, 1961; Martini and Mohammad, 2011).

$$M_T = M_{SV} + M_W \tag{1}$$

$$M_{sv} = GJ \frac{d\phi}{dz} \tag{2}$$

$$M_w = -EC_w \frac{d^3\phi}{dz^3} \tag{3}$$

$$M_T = M_{SV} + M_W = GJ \frac{d\phi}{dz} - EC_w \frac{d^3\phi}{dz^3} \tag{4}$$

Solution of Equation of Equilibrium for laterally buckled case is given in the following equation.

$$EC_w \frac{d^4\phi}{dz^4} - GJ \frac{d^2\phi}{dz^2} - \frac{M_0^2}{EI_y} \phi = 0 \tag{5}$$

After the solution of differential equation considering boundary conditions, Critical Moment can be obtained as follows.

$$M_{ocr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y C_w} \tag{6}$$

L is the laterally un-braced length for beam compression flange. E is the modulus of elasticity. I_y is the moment of inertia about the y-axis. G is the shear modulus, J is the polar moment of inertia and C_w is the warping constant.

$$M_n = C_b M_{ocr} \tag{7}$$

$$C_b = \frac{M_n}{M_{ocr}} \quad (8)$$

Previous calculation is valid for a beam which is subjected to fixed bending moment along its length. This is the most critical load case for LTB and may occur if the beam ends are subjected to the same amount of moment with opposite directions. However, beams may be exposed to various load types and moments during service life. Variation of moment along a beam length is considered by moment gradient factor (C_b). C_b factor differs for some national steel design codes which are presented in Table 3 for mid-span concentrated load as follows.

Table 3. Moment gradient factor given by national design codes, C_b (Martini and Mohammad, 2011)

Loading Type	AISC360-16 (2016)	EC3 (2005)	AS4100 (1998)
Mid-Span Concentrated Load	1,32	1,37	1,35

Cross-section of beam elements that are subjected to bending moment can be classified as compact, non-compact, and slender according to AISC360-16 (2016) and TSDC-2016 (Turkish Steel Design Code, 2016). Geometric slenderness limitations are given in Table 4.

Table 4. Geometric Slenderness limitations (AISC360-16 (2016) and TSDC-2016 (2016))

Element	λ	λ_p	λ_r
Flange	$\frac{b_f}{2t_f}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Web	$\frac{h}{t_w}$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

After the Northridge Earthquake (1994), many experimental studies conducted in the USA to analyze damage occurred at steel structures. AISC 360-16 took its final form in the light of these experiences. American steel profiles (W profiles) and American steel quality (A992, A572 Gr. 50) were used in experimental studies. Turkish Steel Design Code (TSDC-2016) that came into force in 2016 seriously affected by AISC360-16. However, steel quality and steel shapes used in Turkey are quite different from the ones used in the USA. For this reason, a calculation conducted based on AISC360-16 with steel shape and steel quality used in Turkey. An experimental study conducted by Erdal and Saka (2013) with S355 steel quality and NPI240 steel profile was used for verification of the AISC360-16 design theory to determine LTB point. The effective radius of gyration (i_{ts}) was calculated by using the following equation for gross and net section solution. Where b_f is flange width, t_f is the flange thickness, t_w is the web thickness and h is the height of the beam web.

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12(1 + \frac{ht_w}{6b_f t_f})}} \quad (9)$$

Equation 9 considers the total cross-section area of beam flange and one-sixth of beam web height for calculation of an effective radius of gyration. LTB behavior of the prismatic beam is investigated based on preceding information given above according to AISC 360-16 and Turkish steel design code (TSDC-2016). These design codes state that the LTB problem for perforated beam can be examined using the gross section area of the beam. In this study, theoretical study results using gross-section and net section were compared with an experimental study results performed by Erdal and Saka (2013). Table 5 shows a comparison of critical LTB load with the net section and gross section. The verification study shows that LTB occurs around 200 kN ($M_{cr}=140$ kNm) for cellular beam obtained from the NPI240 root profile. This result proves that LTB load calculation with gross section and net section overestimates the critical LTB capacity. For this reason, LTB load calculation with the net section and a more conservative safety factor (less than 0.9) is recommended by authors for design purposes.

Table 5. Hand Calculations with Gross and Net Section

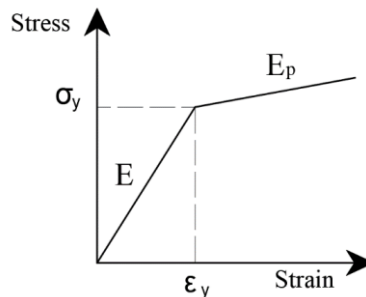
Properties	Units	Gross Section	Net Section
A (area of the section)	mm^2	5.643,00	3.461,02
J (torsional moment of inertia)	mm^4	234.044,20	175.897,90
I_x (moment of inertia about x)	mm^4	107.398.000,00	95.976.824,43
I_y (moment of inertia about y)	mm^4	2.618.460,00	2.604.680,00
r_y (radius of gyration)	mm	21,50	27,43
W_{ex} (elastic section modulus)	mm^3	604.038,00	539.802,16
W_{px} (plastic section modulus)	mm^3	711.592,00	574.840,81
L_p (Limiting laterally unbraced length for the limit state of yielding)	mm	899,87	1.146,01
i_{ts} (effective radius of gyration)	mm	26,39	26,39
h_o (Distance between flanges of beam)	mm	342,50	342,50
L_r (Limiting laterally unbraced length for the limit state of inelastic lateral-torsional buckling)	mm	2.795,52	2.722,42
C_b (Moment gradient factor)		1,32	1,32
M_n (LTB moment)	kNm	178,04	152,22
ϕM_n (Factored LTB moment)	kNm	160,24	137,00

2.3. Finite Element Model

2.3.1. Material Model and Material Properties

According to coupon tests given at the verification study, modulus of elasticity, yield strength, and ultimate rupture strength of steel were taken as 190.000,00 MPa, 390 MPa, and 495 MPa, respectively. Bilinear isotropic hardening material model (Fig. 4) was used in FEA. Tangent modulus in the plastic region was taken 1.000,00 MPa to prevent iteration problems (Akgönen et al., 2015). SOLID187 tetrahedral element with 10 nodes was selected which is well suited for irregular meshes (Sharcnet, 2017). SOLID187 element also has plasticity, large deflection, and large strain capabilities. Von Mises yield criteria (Beer et al., 2014), which are suitable for ductile materials, used to analyze stresses in the beam. When Von Mises stress (σ_{vm}) value (equation 10) exceeds the yield capacity of material ($\sigma_y > \sigma_{vm}$), the yield of material occurs. $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ are normal stresses along x, y, z axes, respectively.

$$\sigma_{vm} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2} \quad (10)$$

**Figure 4.** Bilinear elasto-plastic material model

2.3.2. Boundary Conditions

The FEM was established as a simply supported beam model. Remote displacement command was used to apply boundary conditions. The following constraints were used for FEA. Table 6 shows the boundary conditions applied to the cellular beam and Fig. 5 shows X, Y, and Z directions.

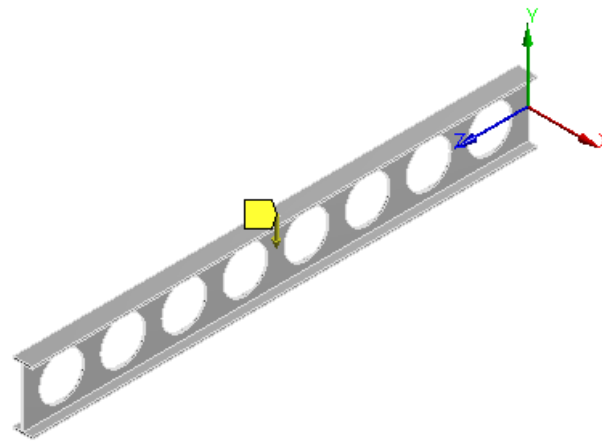


Figure 5. Axis used for boundary conditions

Table 6. Boundary conditions

Part	Translation			Rotation		
	x	y	z	r _x	r _y	r _z
Left side	0	0	0	free	0	0
Right side	0	0	free	free	0	0

2.3.3. Investigation of Eigen-Value Problem by FEA

The rigidity matrix consists of elastic rigidity matrix [K_E] and geometric rigidity matrix [K_σ]. These matrixes are established automatically by ANSYS (2019). Buckling occurs when the total rigidity matrix equals to zero. This case is named as an Eigenvalue problem. The rigidity of bodies varies due to load type whether it is subjected to tension load or compression load. This variation is shown with [K_σ] named as geometric rigidity matrix or initial stiffness matrix. [K_σ] is a symmetric matrix that takes into account the increase or decrease of stiffness due to load type. The relationship between force and stiffness matrix for linear elastic finite element analysis is shown in equation 11. Where *F* is the force matrix applied to structure, *u* is the displacement matrix of nodes and λ is the eigenvalue. Buckling occurs when the rigidity matrix equals to zero (Martini and Mohammad, 2011).

$$\{F\} = [[K_E] + [K_σ] λ] \{u\} \tag{11}$$

Equation 12 (Martini and Mohammad, 2011) shows the total rigidity matrix of the structural element. 1 kN external vertical load was applied at mid-point of cellular beam to initiate elastic buckling analysis. Required lowest eigenvalue factor to solve rigidity matrix gives buckling load and related eigenvector gives buckling mode shape.

$$[[K_E] + [K_σ] λ] = 0 \tag{12}$$

2.3.4. Parametric Study

Four different types (Fig. 6) and seven different parameters were investigated in the parametric study. Firstly, (M1) was established (Fig. 6a) for verification of FEM which was obtained by the NPI240 root profile (Erdal and Saka (2013)) with 345 mm hole spacing and 251 mm hole diameter. Secondly, the hole diameter was varied for a fixed 345 mm hole spacing for M2-M7 models. Thirdly, hole spacing was varied for a fixed 251 mm hole diameter for M8-M11 models. Fourthly, vertical rigidity plates were placed (Fig. 6b) to verified model (M1) along web post centers for various thicknesses (M12-M15). Fifthly, vertical rigidity plate length was varied for vertical stiffener with 5 mm thickness (M16-M19). Sixthly, horizontal rigidity plates (Fig. 6c) were placed to verified model (M1) at 130mm above and below the center point of holes for various horizontal stiffener thicknesses (M20-M23). Seventhly, horizontal rigidity plate length was varied for vertical stiffener with 10 mm thickness (M23-M26). Lastly, a circular rigidity plate was added to the verified model (M1) for various circular rigidity plate thickness (M27-M30) (Fig. 6d). The geometrical properties of studied models can be seen in Table 7.

Table 7. Parametric study data

Model	s (mm)	D ₀ (mm)	bvrp (mm)	tvrp (mm)	lvrp (mm)	bhrp (mm)	thrp (mm)	lhrp (mm)	bcrp (mm)	tcrcp (mm)
M1	345	251	-	-	-	-	-	-	-	-
M2	345	300	-	-	-	-	-	-	-	-
M3	345	200	-	-	-	-	-	-	-	-
M4	345	150	-	-	-	-	-	-	-	-
M5	345	100	-	-	-	-	-	-	-	-
M6	345	50	-	-	-	-	-	-	-	-
M7	345	0	-	-	-	-	-	-	-	-
M8	400	251	-	-	-	-	-	-	-	-
M9	450	251	-	-	-	-	-	-	-	-
M10	500	251	-	-	-	-	-	-	-	-
M11	550	251	-	-	-	-	-	-	-	-
M12	345	251	30	5	330	-	-	-	-	-
M13	345	251	30	8	330	-	-	-	-	-
M14	345	251	30	10	330	-	-	-	-	-
M15	345	251	30	12	330	-	-	-	-	-
M16	345	251	30	5	300	-	-	-	-	-
M17	345	251	30	5	275	-	-	-	-	-
M18	345	251	30	5	250	-	-	-	-	-
M19	345	251	30	5	200	-	-	-	-	-
M20	345	251	-	-	-	30	5	100	-	-
M21	345	251	-	-	-	30	8	100	-	-
M22	345	251	-	-	-	30	12	100	-	-
M23	345	251	-	-	-	30	10	100	-	-
M24	345	251	-	-	-	30	10	150	-	-
M25	345	251	-	-	-	30	10	200	-	-
M26	345	251	-	-	-	30	10	250	-	-
M27	345	251	-	-	-	-	-	-	60	5
M28	345	251	-	-	-	-	-	-	60	8
M29	345	251	-	-	-	-	-	-	60	10
M30	345	251	-	-	-	-	-	-	60	12

- s : spacing between holes.
- D₀ : hole diameter.
- bvrp : width of vertical rigidity plate.
- tvrp : thickness of vertical rigidity plate.
- lvrp : length of vertical rigidity plate.
- bhrp : width of horizontal rigidity plate.
- thrp : thickness of horizontal rigidity plate.
- lhrp : length of horizontal rigidity plate.
- bcrp : with of circular rigidity plate.
- tcrcp : thickness of circular rigidity plate

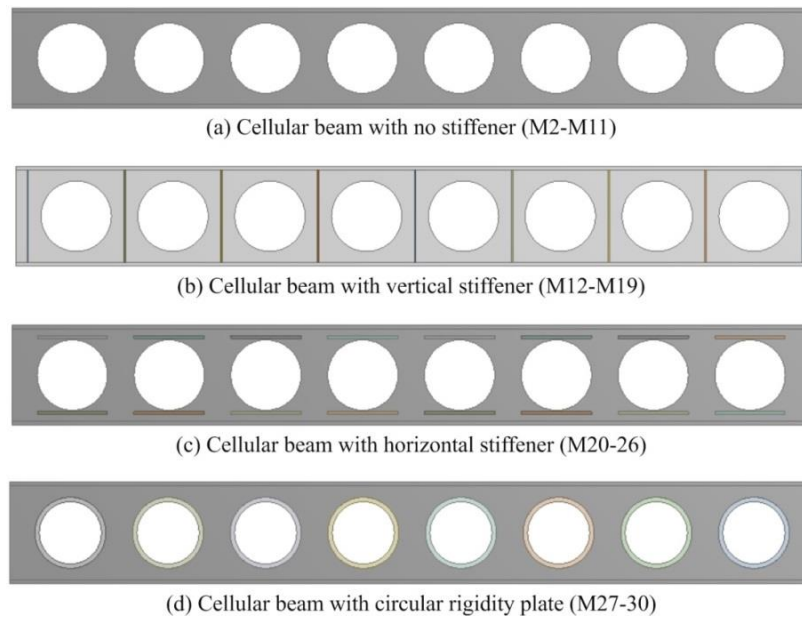


Figure 6. Studied cellular beam types

3. Results and Discussion

Finite element analysis was conducted to investigate the flexural and lateral-torsional buckling behavior of the cellular beam (Fig. 7). An experimental study from literature was chosen for verification of FEM. Parametric studies were performed with a verified numerical model to investigate the effect of some geometrical properties of the cellular beam such as hole diameter, hole spacing, and various types of rigidity plates on buckling and bending capacity of beams.

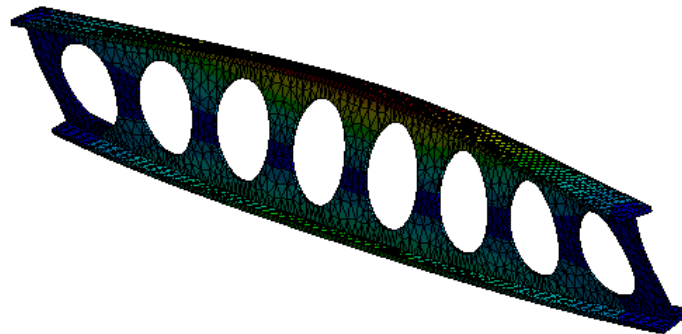
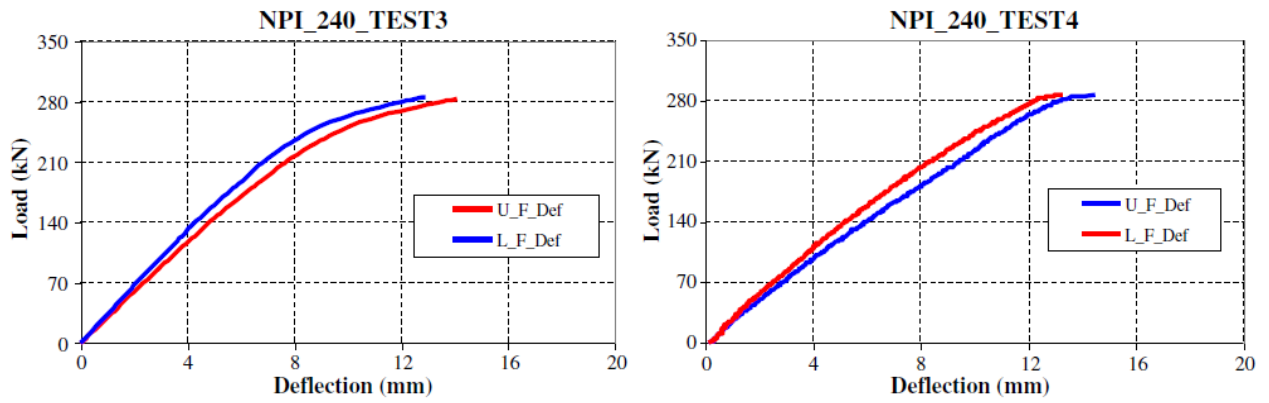


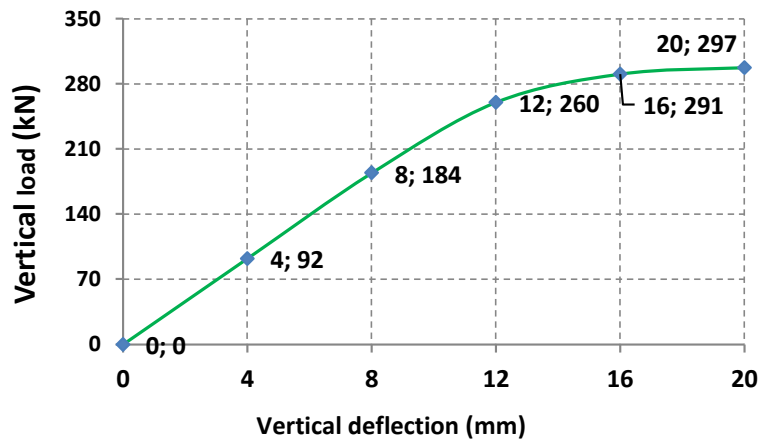
Figure 7. Laterally buckled shape of cellular beam

Fig. 8a shows the load-deflection curve of the experimental study for buckling-prevented specimens (Test3 and Test4) that reported by Erdal and Saka (2013) and Fig. 8b shows the FEA result. As it is seen, the FEA result suits well with experimental study results.

Fig. 9a shows the load-deflection behavior of cellular beam for various hole sizes. Center to center hole spacing was 345mm. Elastic rigidity and ultimate load capacity decreases due to hole size. Fig. 9b shows the ultimate load capacity-hole size relation for cellular beam. Maximum flexural capacity decreased almost linearly between D0-D200 models. A sudden capacity decrease was observed for D251 and D300. Ultimate load capacity decreased by 70% due to the increasing hole size compared to the no hole model. Fig. 9c shows vertical rigidity-hole size relation for cellular beam. Vertical rigidity was seriously affected by hole size for 150 mm or larger hole diameters. Vertical rigidity decreased 74% for D300 compared to D0. It was assumed that LTB was prevented to reach the ultimate flexural capacity of the cellular beam for Fig. 9a,b,c. Fig. 9d shows the ultimate elastic LTB load-hole diameter relation. Center to center hole spacing was 345mm. A parabolic decrease was observed due to the hole diameter increase. Elastic LTB capacity was not affected as much as the ultimate flexural capacity of the cellular beam. However, the 200 mm hole diameter can also be accepted as a critical value for LTB. LTB capacity for 300 mm hole diameter decreased 22,7% compared to the no hole model.

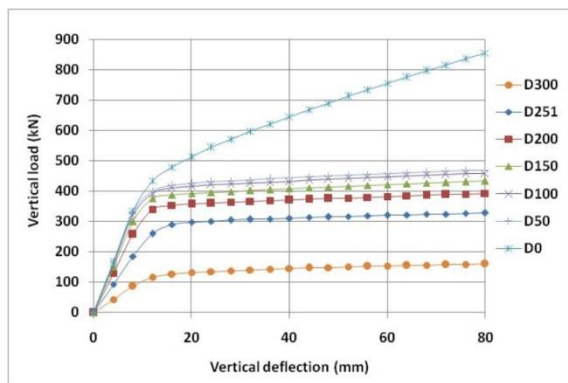


(a)

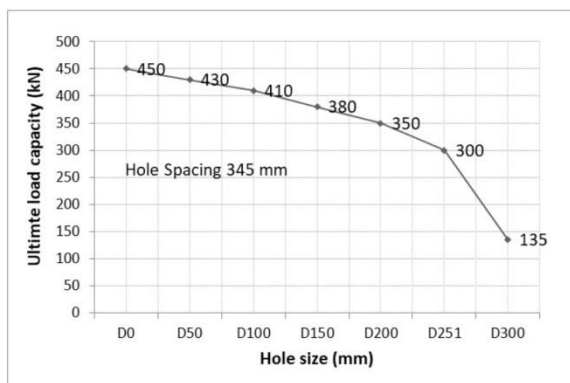


(b)

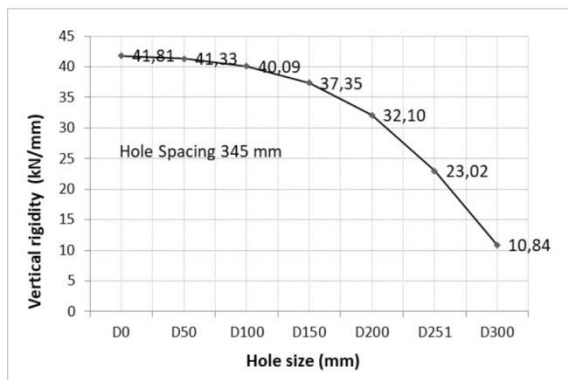
Figure 8. Comparison of Experimental study (Erdal and Saka, 2013) and FEA



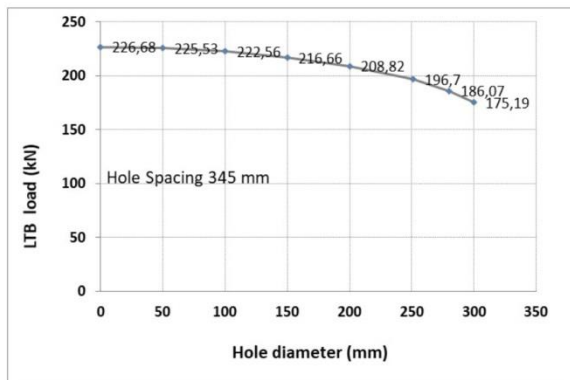
(a)



(b)



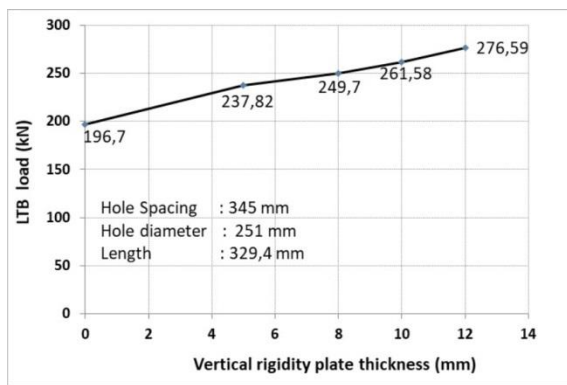
(c)



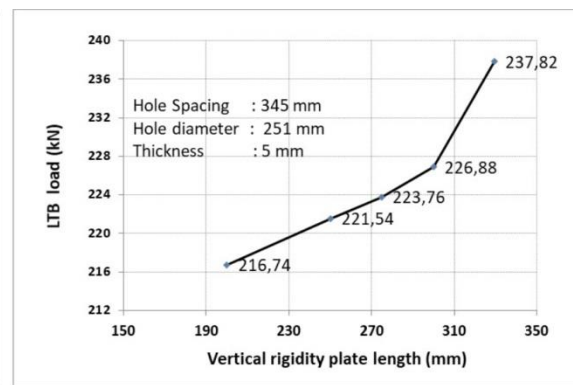
(d)

Figure 9. Graphics of parametric studies (1/2)

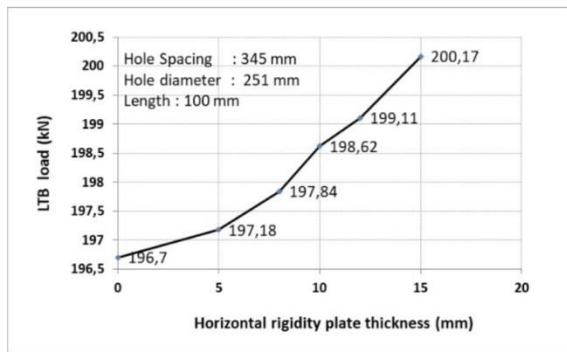
Fig. 10a shows the effect of vertical rigidity plate thickness on elastic LTB capacity. The length is 329,4 mm for all vertical rigidity plates. Almost a linear increase was observed due to the increase of vertical rigidity plate thickness. Vertical rigidity plate with 12 mm thickness (M15) increased the LTB capacity 40,6 % compared to the M1 model with no rigidity plate. Fig. 10b shows the effect of vertical rigidity plate length on elastic LTB capacity. Thickness is 5 mm for all rigidity plates. Vertical rigidity plate with 329,4 mm length increased LTB capacity up to 20,9% compared to the M1 model with no rigidity plate. Fig. 10c shows that horizontal rigidity plate thickness has a slight effect on LTB capacity. Rigidity plate with 15 mm thickness and 100 mm length increased LTB capacity around 2%. Fig. 10d shows the effect of horizontal rigidity plate length on elastic LTB capacity. Rigidity plate with 10 mm thickness and 250 mm length increased LTB capacity around 5,8% compared to the M1 model with no rigidity plate. Fig. 10e shows the effect of hole spacing on elastic LTB capacity. It was seen that elastic LTB capacity increased due to increased hole spacing. However, unexpected capacity decrease was observed for 500 mm hole spacing. Hole spacing affected the quantity of hole and the number of holes was also given in parenthesis. Fig. 10f shows the effect of circular rigidity plate thickness on elastic LTB capacity. Rigidity plate was used for all perimeter of hole (Fig. 6d). Circular rigidity plate with 12 mm thickness (M30) increased LTB capacity around 18,8% compared to the M1 model with no rigidity plate.



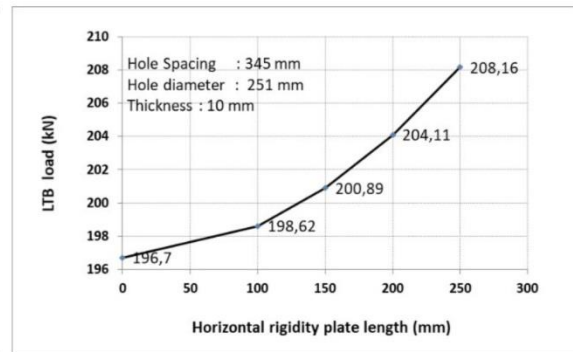
(a)



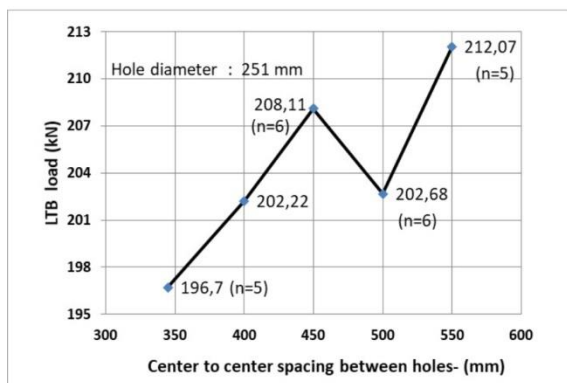
(b)



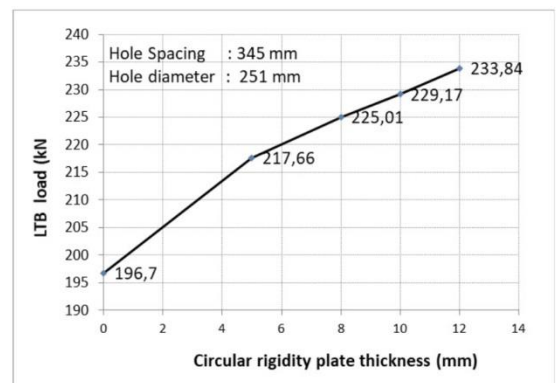
(c)



(d)



(e)



(f)

Figure 10. Graphics of parametric studies (2/2)

4. Conclusions

3D finite element analysis was performed to determine the flexural and elastic lateral-torsional buckling behavior of a cellular beam. Parametric studies were performed with a verified numerical model to investigate the effect of some geometrical properties of the cellular beam such as hole diameter, hole spacing, and various types of rigidity plates on buckling and flexural capacity of beams. The major conclusions of this study are as follows.

- Usage of gross-section area is recommended to estimate the LTB capacity of cellular beam following AISC360-16 (2016) and TSDC-2016 (2016). Theoretical calculation of critical LTB load with gross-section area gave a larger result than the critical LTB load found at experimental work. However, critical LTB load obtained by using the net-section area with safety factor perfectly matched to experimental study result. More conservative safety factor and net cross-section area usage is recommended for safe cellular beam design.
- Most of the experimental studies on LTB were conducted with American wide flange steel profiles in literature. Theoretical calculations following AISC360-16 and TSDC-2016 showed good agreement with experimental and finite element study results conducted with European steel profiles and European steel quality. Effect of various hole geometries and various types of rigidity plates were studied on flexural and elastic LTB capacity of the cellular beam. Numerical studies showed that rigidity plates contribute significantly to LTB capacity depending on their type.
- Most of 3D finite element models were established using two-dimensional shell elements in the literature. In this study, a 3-D finite element model was established using three-dimensional SOLID187 tetrahedral elements with 10 nodes that provide higher sensitivity. Finite element analysis can satisfactorily predict both linear and non-linear flexural character of cellular beam with acceptable accuracy in terms of rigidity and ultimate beam flexural capacity. The finite element model showed satisfactory agreement to predict elastic buckling capacity and elastic buckling mode of the cellular beam.

Notation

The following symbols are used in this paper:

A	= area of the section
B_f	= spacing between holes
D_o	= hole diameter
C_w	= warping constant
C_b	= moment gradient factor
E	= modulus of elasticity
G	= shear modulus
H_s	= spacing between holes
I_x	= moment of inertia about x
I_y	= moment of inertia about y
J	= polar moment of inertia
L	= spacing between holes
L	= laterally un-braced length
L_p	= limiting laterally unbraced length for the limit state of yielding
L_r	= limiting laterally unbraced length for the limit state of inelastic lateral-torsional buckling
M_{cr}	= critical lateral torsional buckling moment under uniform bending
ϕM_n	= factored LTB moment subjected to specific transverse load
M_n	= LTB moment subjected to specific transverse load
M_{ocr}	= critical buckling moment acting in the plane of beam's web
M_T	= total torsional moment
M_{SV}	= Saint-Venant's pure torsion moment
M_w	= warping torsion component
T_f	= spacing between flange holes
T_w	= spacing between web holes
W_{ex}	= elastic section modulus
W_{px}	= plastic section modulus
$bcrp$	= width of circular rigidity plate

bf	= flange width
bhrp	= width of horizontal rigidity plate
bvrp	= width of vertical rigidity plate
e	= spacing between holes
h	= height of beam web
ho	= distance between flanges of beam
its	= effective radius of gyration
lhrp	= length of horizontal rigidity plate
lvrp	= length of vertical rigidity plate
ly	= length of vertical rigidity plate
tcrp	= thickness of circular rigidity plate
thrp	= thickness of horizontal rigidity plate
tvrp	= thickness of vertical rigidity plate
ry	= radius of gyration
s	= spacing between holes
tf	= flange thickness
tw	= web thickness
σ_x	= normal stresses along x axes
σ_{vm}	= Von Mises stress
σ_y	= normal stresses along y axes
σ_z	= normal stresses along z axes
ϵ	= strain

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- ADINA 8.9, 2013. System Offers a Program for Comprehensive Finite Element Analyses of Structures. ADINA R & D, Inc.
- AISC-31. 2017. AISC Design Guide 31. Castellated and Cellular Beam Design. American Institute of Steel Construction. Chicago: American Institute of Steel Construction (AISC).
- Akgönen, A. İ., Yorgun, C., Vatanserver, C., 2015. Cyclic Behavior of Extended End-Plate Connections. *Steel and Composite Structures*, 19(5), 1185-1201.
- Akgöz, B., Civalek, B., 2017. A size-dependent beam model for stability of axially loaded carbon nanotubes surrounded by Pasternak elastic foundation. *Composite Structures*, 176, 1028-1038.
- ANSI/AISC 360-16, 2016. Specification for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction.
- ANSYS, 2019. Engineering Simulation & 3D Design Software.
- Arcelormittal, 2020a. Cellular Beams https://constructalia.arcelormittal.com/files/5_4_1_Cellular_web--d7fedb749a4408ea2603fdd411761428.pdf, accessed on July 2020
- Arcelormittal, 2020b. Cellular Beams. http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/1-Sales_programme_Brochures/ACB/ACB_EN.pdf, accessed on January 2020
- AS4100, 1998. Australian steel standard.
- Avcar M., 2014a. Elastic Buckling of Steel Columns under Axial Compression. *American Journal of Civil Engineering*, 2(3), 102-108.
- Avcar M., 2014b. Free Vibration Analysis of Beams Considering Different Geometric Characteristics and Boundary Conditions. *International Journal of Mechanics and Applications*, 4 (3), 94-100.
- Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., Mazurek D. F. (2014). *Mechanics of materials*, 6th SI-Turkish Edition.
- Bradley, T. P., 2003. Stability of Castellated Beams. Msc. Thesis. Blacksburg, Virginia, United States of America.
- BS5950, 2000. British Standard Institution. London.
- Civalek, O., Kiracioglu, O., 2010. Free vibration analysis of Timoshenko beams by DSC method. *Int. J. Numer. Meth. Biomed. Engng.* 2010; 26:1890-1898.
- Ellobody, E., 2012. Nonlinear Analysis of Cellular Steel Beams Under Combined Buckling Modes. *Thin-Walled Structures*, 52, 66-79. doi:10.1016/j.tws.2011.12.009.
- El-Sawy, K. M., Sweedan, A. M., Martini, M. I., 2014. Moment Gradient Factor of Cellular Steel Beams under Inelastic Flexure. *Journal of Constructional Steel Research*, 98, 20-34. doi:10.1016/j.jcsr.2014.02.007
- EN 1993-1-1, 2005. Eurocode 3: Design of steel structures. The European Union.
- Erdal, F., Saka, M. P., 2013. Ultimate Load Carrying Capacity of Optimally Designed Steel Cellular Beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 80, Pages 355-368. doi:10.1016/j.jcsr.2012.10.007
- Jiang, D., Xiao, C., Chen, T., Zhang, Y., 2019. Study on the Seismic Performance of Box-Plate Steel Structure with Openings Modular Unit. *Materials*, 12(24), 4142.
- Kwani, S., Wijaya, P. K., 2017. Lateral Torsional Buckling of Castellated Beams Analyzed Using the Collapse Analysis. *Journal of Constructional Steel Research*, 171, 813-820. doi:10.1016/j.proeng.2017.01.370
- Martini, H., Mohammad, M. I., 2011. Elasto-Plastic Lateral Torsional Buckling of Steel Beams with Perforated Web. Msc. Thesis. United Arab Emirates University.

- Pachideh, G., Gholhaki, M., Daryan, A., 2019. Analyzing the Damage Index of Steel Plate Shear Walls Using Pushover Analysis. *Structures*, 20, 437-451.
- Pachpor, P., Gupta, L., Deshpande, N., 2015. Analysis and Design of Cellular Beam and Its Verification. *IERI Procedia*, 7, 120-127. doi:10.1016/j.ieri.2014.08.019
- Roy, K., Lim, J., 2019. Numerical Investigation into the Buckling Behaviour of Face-To-Face Built-Up Cold-Formed Stainless Steel Channel Sections under Axial Compression. *Structures*, 20, 42-73.
- Roy, K., Ting, T., Lau, H., Lim, J., 2018. Effect of Thickness on The Behaviour of Axially Loaded Back-to-Back Cold-Formed Steel Built-up Channel Sections - Experimental and Numerical Investigation. *Structures*, 16, 327-346.
- Sharcnet, 2017. "Solid187":https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/17.0/en-us/help/ans_elem/Hlp_E_SOLID187.html
- Sweedan A.M.I., 2011. Elastic Lateral Stability of I-Shaped Cellular Steel Beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 67, 182-194. doi:10.1016/j.jcsr.2010.08.009
- Taheri, E., Firouzianhaji, A., Usef, N., Mehrabi, P., Ronagh, H., Samali, B., 2019. Investigation of a Method for Strengthening Perforated Cold-Formed Steel Profiles Undercompression Loads. *Applied Science*, 9(23), 5085.
- Timoshenko, S., Gere, J., 1961, *Theory of Elastic Stability* (2nd b.). New York: McGraw-Hill.
- Tsavdaridis, K. D., D'Mello, C., 2011. Web Buckling Study of The Behaviour and Strength of Perforated Steel Beams With Different Novel Web Opening Shapes. *Journal of Constructional Steel Research*, 67, 1605-1620. doi:10.1016/j.jcsr.2011.04.004
- Tsavdaridis, K. D., Galiatsatos, G., 2015. Assessment of Cellular Beams with Transverse Stiffeners and Closely Spaced Web Openings. *Thin-Walled Structures*, 94, 636-650. doi:10.1016/j.tws.2015.05.005
- TSDC-2016., 2016. Regulation Regarding the Design, Calculation and Construction Basis of Steel Structures, Turkey: Minister of Environment and Urban Planning, Ankara.
- Yin, Z., Zhang, H., Yang, W., 2019. Study on Seismic Performance and Damage Analysis of Steel Plate Shear Wall With Partially Encased Composite (Pec) Columns. *Applied Science*, 9(5), 907.



SEYFE GÖLÜ SULAK ALAN HAVZASINDAKİ SU KAYNAKLARININ DURAYLI İZOTOP İÇERİKLERİNİN İNCELENMESİ

Cansu YURTERİ*

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Hidrojeoloji, Döteryum, Oksijen-18, Seyfe Gölü Havzası, Sulak Alan.</i>	Duraylı izotop teknikleri hidrojeolojik süreçlerin anlaşılmasında ve hidrodinamik yapının kavramsallaştırılmasında önemli katkılar sağlamaktadır. Bu çalışmada Seyfe Gölü havzasındaki su kaynaklarının geçirdikleri fiziksel ve kimyasal süreçlerin açıklanması amacıyla duraylı izotop içerikleri değerlendirilmiştir. Çalışma alanı Kırşehir ilinin kuzeydoğusunda yer alan 1447 km ² 'lik yüzey drenaj alanına sahip Seyfe Gölü havzasını kapsamaktadır. Havza içerisinde Paleozoyik yaşlı Kırşehir Masifi metamorfik serileri, Senozoyik yaşlı örtü birimler ve Kuvaterner yaşlı alüvyon birimler yüzeylemektedir. Paleozoyik yaşlı Kırşehir Masifinin Bozçaldağ Formasyonu'nu temsil eden mermer ve kireçtaşı seviyelerinin kırıklı ve çatlaklı zonları akifer özelliği göstermektedir. Eylül 2019 ve Aralık 2019'da havza drenaj alanında yer alan kaynaklardan, sığ kuyulardan ve drenaj kanalından Oksijen-18 ve Döteryum analizleri için örneklemeler yapılmıştır. Çalışma alanındaki su noktalarının $\delta^{18}O$ değerleri ‰-11.97 ile ‰-3.29 VSMOW arasında; δ^2H değerleri ise ‰ -80.88 ile ‰-27.61 VSMOW arasında değişmektedir. Havzanın kuzeybatısında metamorfik birimlerden beslendiği düşünülen su kaynaklarının beslenme alanları diğer su kaynaklarına göre daha yüksek kotlarda bulunmaktadır. Göl alanına ve drenaj kanallarına yakın olan bazı su noktalarında ise buharlaşma etkisi görülmektedir.

INVESTIGATION OF STABLE ISOTOPE CONTENTS OF WATER RESOURCES IN SEYFE LAKE WETLAND BASIN

Keywords	Abstract
<i>Hydrogeology, Deuterium, Oxygen-18, Seyfe Lake Basin, Wetland.</i>	Stable isotopes techniques make a significant contributions to the understanding of hydrogeological processes and the conceptualization of the hydrodynamic structure. In order to explain the physical and chemical processes regarding the water resources of Seyfe Lake basin, results of stable isotope analysis of the waters are evaluated in the study. The study area covers the entire basin of Seyfe Lake basin which has a catchment area of 1447 km ² and is located northeast of Kırşehir. Paleozoic Kırşehir Massif metamorphic series, Cenozoic cover units and Quaternary alluvial units are exposed in the basin. The fractured and faulted zones of the marble and limestone levels representing the Bozçaldağ Formation of the Paleozoic Kırşehir Massif show aquifer characteristics. In September 2019 and December 2019, water samples from springs, shallow wells and drainage channel were collected in the catchment area for Oxygen-18 and Deuterium isotope analysis. In the study area; $\delta^{18}O$ value of the water samples varies between ‰-11.97 and ‰ -3.29 VSMOW; and δ^2H value changes between ‰ -80.88 and ‰ -27.61 VSMOW. The recharge area of the springs thought to be recharged from the outcrops of the metamorphic units are located at northwest of the basin and higher in altitude than the other water resources. Some of the sampling points near the lake area and the drainage channels exhibit isotopic enrichment due to evaporation.

Alıntı / Cite

Yurteri, C., (2020). Seyfe Gölü Sulak Alan Havzasındaki Su Kaynaklarının Duraylı İzotop İçeriklerinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 883-903.

* İlgili yazar / Corresponding author : cyurteri@hacettepe.edu.tr, +90-312-297-77-00 /169

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
C.Yurteri, 0000-0002-4944-0168	Başvuru Tarihi / Submission Date	15.07.2020
	Revizyon Tarihi / Revision Date	08.09.2020
	Kabul Tarihi / Accepted Date	11.09.2020
	Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Giriş (Introduction)

Günümüzde su kaynaklarına duyulan ihtiyaç gittikçe artmaktadır. Buna karşılık doğal (iklimsel) ve antropojenik (kuyularla aşırı yeraltısuyu çekimi, kirlilik vb.) nedenlerle su kaynaklarındaki azalmanın devam ettiği görülmektedir. Ülkemizde artan su ihtiyacının karşılanmasında sulak alanlar önemli su kütleleri olarak yer tutmaktadır. Sulak alanlardaki su kaynakları potansiyelinin değerlendirilmesi için gerçekleştirilecek hidrojeolojik çalışmaların, sulak alanın bağlı olduğu havza ölçeğinde gerçekleştirilmesi uygun olacaktır.

Hidrojeolojide duraylı izotop uygulamaları, havza ölçekli gerçekleştirilen çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının etkin korunması ve sürdürülebilirliği için sistemin mevcut hidrodinamik yapısının tanımlanmasında duraylı izotop tekniklerinden yararlanılmaktadır.

Duraylı (Oksijen-18, Döteryum) izotoplar hidrolojik çevrim içerisinde ölçülebilir miktarlarda yer almaktadırlar (Clark ve Fritz, 1997). Dolayısıyla suyun iyi birer izleyicileridirler ve ayrıntılı bilgiler sağlamaktadırlar (Gat ve Gonfiantini, 1981). Bu tür izotoplar akiferlerin beslenme alanlarının belirlenmesi, farklı kökenli suların ayırt edilmesi, geçirilen kimyasal ve fiziksel süreçlerin belirlenmesi ve yeraltısuyu-yüzeysuyu ilişkisi ile ilgili değerlendirmelere olanak sağlamaktadırlar (Gat ve Gonfiantini, 1981). Ayrıca kavramsal hidrojeolojik modellerin oluşturulmasında yaygın bir şekilde kullanılan yardımcı tekniklerdir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin önemli sulak alan havzalarından biri olan Seyfe Gölü havzasındaki su kaynaklarının duraylı izotop içerikleri incelenmiştir. Bu kapsamda havzadaki su noktalarının beslenme alanı yükseltilerinin hesaplanması, farklı kökenli suların ayırt edilmesi ve geçirilen hidrojeolojik süreçlerin açıklanmasına yönelik değerlendirmeler araştırmanın amacını oluşturmaktadır.

Literatürde; çalışma alanında havza ölçeğinde izotop hidrojeolojisine yönelik sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Bilimsel yazın araştırmasına göre araştırma konusuyla ilgili çalışmalara; (Ünsal, 1999; Çelik vd., 2008) örnekler verilebilir.

Çalışmada giriş bölümünden sonra alandaki bilimsel yazın araştırması sonuçları verilecek, havzada uygulanan materyal ve yöntem açıklandıktan sonra araştırma bulguları sunulacaktır. En son olarak sonuç ve tartışma kısmı ile çalışma tamamlanacaktır.

2. Bilimsel Yazın Araştırması (Literature Survey)

Geçmişten günümüze kadar çalışma alanı ve yakın çevresinin jeolojik, hidrojeolojik, hidrolojik ve jeomorfolojik yapısının tanımlanmasına yönelik çeşitli disiplinlerde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar, çalışma yılı sırasına göre verilmiştir.

Erguvanlı (1957), "Kırşehir Kuzeyinde Seyfe Ovasının Hidrojeolojik Etüdü" isimli çalışmasında Seyfe ovasında jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalar yürütmüştür. Bu kapsamda Seyfe Ovasının kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı kapalı bir havza olduğu, havza drenaj alanının 1538 km² olarak hesaplandığı ve bütün akışın ovanın en düşük kotu olan Seyfe Gölü'ne doğru yönlendiği belirtilmiştir.

Önhon (1969), "Seyfe Ovası Kristalize Kalker Sahasının Karst Etüdü ve Seyfe Kaynağının Geliştirilmesi" isimli çalışmasında Seyfe kaynağının geliştirilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Mart 1969 ile Nisan 1970 dönemi arasında yapılan gözlemler sonucu; Seyfe kaynağının hacmi 26*10⁶ m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Kaynaktan yıllık 18*10⁶ m³ boşalım gerçekleştiği ve yıllık 8*10⁶ m³ suyun rezervde kaldığı belirtilmiştir.

DSİ (1975), "Kırşehir Seyfe Ovası Planlama Kademesi Jeofizik Rezistivite Etüd Raporu" isimli çalışmada Seyfe ovasında jeofizik çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmada en önemli kırık hatlarının Seyfe-Eskidoğanlı uzanımlı faylar ile Boztepe-Çimeli yönündeki faylar olduğu belirtilmiştir. Boztepe-Çimeli fayının doğuya doğru olan devam eden kesiminin Yazıkınık-Kızıldağyeniyapan-Büyükburunağıl'a kadar uzandığı belirtilmiştir.

DSİ (1979), "Kırşehir-Seyfe Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu" isimli çalışmada Seyfe ovasının genel hidrolojik ve hidrojeolojik özellikleri açıklanmış, Seyfe ovasındaki akiferlerin beslenme-boşalım ilişkileri ile yeraltısuyunun

miktar ve kalitesi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yıllık beslenme miktarı 11×10^6 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu miktarın %70'i emniyetli verim alınarak, emniyetli verim 8×10^6 m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

Yiğitbaşıoğlu (1993), "Seyfe Gölü ve çevresinin jeomorfolojisi" konulu doktora tez çalışmasında; Seyfe Gölü'nün geniş, sığ ve tuzlu bir göl olduğu, göl ve çevresinin yarıkurak iklim özelliklere sahip olduğu, gölün başlıca beslenmesinin kaynak suları ve dipten beslenme yoluyla olduğu belirtilmiştir.

Ünsal (1999), "Seyfe Ovası kaynaklarının kimyasal ve izotopik bileşenleri ve kökeni" isimli çalışmasında Seyfe ovasındaki yeraltısularının jeokimyasal ve izotopik özellikleri ile kökensel araştırılması gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler ile yeraltısularının geçiş sürelerinin trityum değerlerine göre; 1-3 yıl arasında değiştiği ve yeraltısularının genellikle Bozçaldağ Formasyonundaki kireçtaşı birimlerinden beslendiği belirtilmiştir.

Sayhan (2000), "Seyfe Havzasının Jeomorfolojisi (Kırşehir)" isimli çalışmasında alanla ilgili jeolojik ve jeomorfolojik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar ile Seyfe havzasının kapalı bir havza olduğu, dışarıya akışın mevcut olmadığı, bölgede yarı-kurak iklim şartlarının egemen olduğu, alandaki morfolojik yapıların iklim koşulları ile uyumlu olarak geliştiği ve bölgenin tipik bir yarı-kurak bir bölge topografyasına sahip olduğu belirtilmiştir.

Sayhan (2001), "Seyfe Gölü Eski Seviyelerinin Kuvaterner Jeomorfolojisi Açısından Etüdü" isimli çalışmasında, son 24.000 yılda Seyfe Gölü'nde önemli seviye değişimleri olduğunu; Eski Seyfe Gölü'ndeki su seviyesi değişimlerine bağlı olarak Seyfe Havzası'nın dış drenajdan koptuğunu, serin, nemli dönemlerde gölün su seviyesinin yükseldiğini, sıcak-kurak dönemlerde gölün su seviyesinin düştüğünü ve göl seviyesinin 1110 metrede olduğu belirtilmiştir.

DSİ (2004), "Seyfe Ovası Hidrojeolojik Revize Etüt Raporu" isimli çalışmada 1979 yılında hazırlanan "Kırşehir-Seyfe Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu'nun revize edilmesi amacıyla, Seyfe Ovasında 2001-2003 yılları arasında arazi çalışmaları yapılmıştır. Yapılan incelemeler ile, Seyfe kapalı havzasının yüzey suyu drenaj alanı 1430 km² ve akifer alanı 150 km² olarak belirlenmiştir. Havza boşalımının Seyfe Gölü'ne doğru olduğu belirlenmiştir. Ovada açılmış olan kuyuların statik su seviyeleri, 1 ile 57 m; kuyu verimleri 10 ile 40 l/s ; özgül debileri 1 ile 10 l/s/m; hidrolik iletkenlik katsayısının ise 140 ile 4700 m³/gün/m arasında değiştiği belirtilmiştir.

Tüfenkçi (2005), "Seyfe Kaynağı ve Dolayının (Kırşehir) Hidrojeoloji İncelemesi" konulu yüksek lisans tez çalışmasında Kırşehir-Seyfe kaynağı ve çevresindeki yeraltı sularının fasiyesleri, fasiyeslerin birbirleriyle ilişkileri ve kalitesi belirlenmiş, geleceğe yönelik su kullanımı ile ilgili tahminlerde bulunulmuştur. Bölgede yapılan çalışmalar kapsamında Paleozoyik yaşlı Bozçaldağ Formasyonu içerisindeki mermer birimlerin yeraltı suyu taşıyan birimler olduğu, suların Ca-HCO₃ ve Ca-Mg-HCO₃ fasiyesindeki sular olduğu belirtilmiştir.

Yılmaz ve Reis (2008), "Seyfe Gölü'nün Zamansal Değişiminin Uzaktan Algılama Tekniği ile İzlenmesi" isimli çalışmalarında, Seyfe Gölü ve çevresinde zamana bağlı olarak meydana gelen su yüzey alanındaki değişimler incelenmiştir. Bu kapsamda göldeki 1975-2001 yılları arasındaki zamansal değişimin, meteorolojik verilerle de karşılaştırılması sonucunda gölün su yüzey alanının 1975 yılı Ağustos ayında 2021,3 Ha, 1987 yılı Haziran ayında 6562,6 Ha ve 2001 yılı Mayıs ayında 2182,7 Ha olarak hesaplanmıştır. Gölün su rezervinde zamana bağlı bir azalmanın gerçekleştiği belirtilmiştir.

Çelik vd (2008), "Seyfe Gölü (Kırşehir-Türkiye) Havzası'nın Su Kalitesi ve Kirlilik Değerlendirilmesi" isimli çalışmalarında Seyfe Gölü Havzasında yer alan yüzey ve yeraltısuları ile ilgili hidrojeokimyasal ve izotopik değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre; çalışma alanındaki yeraltısularını temsil eden su noktalarının Küresel Meteorik Su Doğrusu üzerinde yer aldığı, bu suların meteorik kökenli olduğu, sığ kuyulardan ve drenaj kanallarından örneklenen sularda ise buharlaşma etkisinin görüldüğü belirtilmiştir.

MTA (2009), "Kırşehir-Mucur-Seyfe Gölü Havzası Maden Jeolojisi Raporu" isimli çalışmada Seyfe Gölü çevresindeki çökellerde, su bölüm hattı içerisinde kalan jeolojik birimlerde ve göl alanında incelemeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan araştırmalar ile göl suyundaki sodyum ve klorür iyon değerlerinin yüksek düzeylerde, sülfat ve potasyum içeriklerinin de önemli miktarlarda olduğu belirtilmiştir.

Kıymaz vd (2011), "Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile Seyfe Gölünün Kuraklık Dönemlerinin Belirlenmesi" isimli çalışmalarında Seyfe Gölü'nün geçmiş yıllarda düşen yağış miktarına bağlı olarak meteorolojik kuraklık incelenmiştir. Bu kapsamda, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) yöntemi kullanılarak dönemsel kuraklık değerlerinin birbirlerinden farklı olduğu belirlenmiş, bu değerlerin Kırşehir ilinin gelecek yıllarda su stresini arttıracacağı belirtilmiştir. Bu kapsamda gerekli kuraklık önlemlerinin alınmasının önemli olacağı vurgulanmıştır.

Çiftçi (2013), "Seyfe Gölü Havzası'nda (Kırşehir) Doğal Ortam-Yeraltısuyu İlişkisi" isimli yüksek lisans tez çalışmasında; Türkiye'nin 12 sulak alanından biri olan Seyfe Gölü ve çevresinin doğal ortam özellikleri ve hidrojeolojik özellikleri incelenmiştir. Seyfe Gölü alanının çeşitli noktalarından örneklenen su noktalarının pH değerlerinin 8 ile 9.13 arasında değiştiği ve suların bazı özellikler gösterdiği belirtilmiştir.

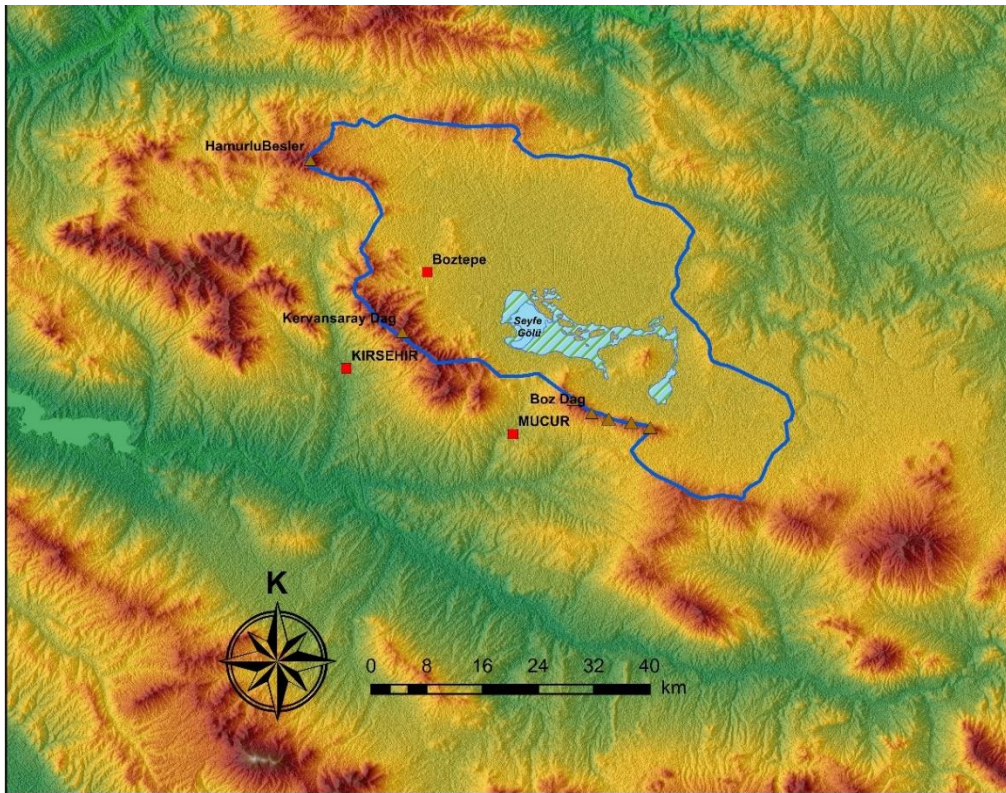
Kıymaz ve Karadavut (2014), "Seyfe Gölü Havzasında yer alan Kuyuların Sularının Sulama Suyu Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi" isimli çalışmalarında Seyfe Gölü Havzasında yer alan su kuyularından 2008-2009 yıllarının Haziran ve Eylül dönemlerinde örneklemeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada; örneklenen yeraltısularının sulama suyu kalitesi açısından izin verilen değerlerden daha yüksek olması nedeniyle sulama suyu olarak kullanılmadığı tespit edilmiştir.

Literatürde çalışma alanında duraylı izotop hidrojeolojisi kullanılarak havza ölçeğinde izotopik karakterizasyona yönelik çok az sayıda çalışmanın olduğu görülmektedir. Ayrıca literatürde havza ölçeğinde duraylı izotop tekniklerinden yararlanarak su kaynaklarının izotop içeriklerinin oransal değişimi ve beslenme alanı yükseltisi hesaplamaya yönelik bir çalışma yapılmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada Türkiye'nin önemli sulak alan havzalarından biri olan Seyfe Gölü sulak alan havzasındaki su noktalarının izotop içeriklerinin oransal değişimi, beslenme alanı yükselti hesaplamaları, farklı kökenli suların ayırtilmesi ile geçirilen fiziksel ve kimyasal süreçleri açıklamaya yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Kızılırmak Havzası'nın alt havzalarından biri olan Seyfe Gölü Havzası, ortalama deniz seviyesinden 1110 metre yükseklikte kapalı bir havzadır. Çalışma alanının kuzeybatısı, güneybatısı ve batısı yüksek dağlar ve tepelerle, doğu tarafı ise alanın batısına göre yükseltileri fazla olmayan tepelerle çevrilidir. Yükseltilerin 950 m ile 1706 m kotları arasında değiştiği havzada; inceleme alanı içerisindeki en önemli yükseltileri Hamurlubeşler Tepe, Bozdağ, Ayırdağ ve Kervansaray Dağ oluşturmaktadır. Havzaya ismini veren Seyfe Gölü; Kırşehir ili sınırları içerisinde Kırşehir'in doğusunda 39°11'-39°14' Kuzey enlemleri ile 34°22'- 34°30' Doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası (Location map of the study area)

Havzanın uzanımı kuzeybatı güneydoğu yönündedir. İnceleme alanında genellikle yazların sıcak ve kurak, kışların soğuk geçtiği karasal iklim koşulları hakimdir. Gece ile gündüz, yaz ile kış arasındaki sıcaklık farkları yüksektir. Çalışma alanına en yakın istasyon olan Kırşehir Meteoroloji Gözlem İstasyonu'nun (MGİ) verilerine göre 1930-2019 yılları arasında yıllık ortalama yağış miktarı 384.5 mm, yıllık ortalama sıcaklık ise 11.51 °C'dir. Bölgede aylık en düşük ortalama sıcaklık -0.22 °C ile Ocak ayında; aylık en yüksek ortalama sıcaklık ise 23.09 °C ile Temmuz ayında ölçülmüştür. Havzada 1996-2019 yılları arasında hakim rüzgar yönü Kuzeydir.

3.2. Örneklem ve Analiz Yöntemi (Sampling and Analysis Method)

Seyfe Gölü havzası yüzey drenaj alanı içerisinde yer alan yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının kökenlerinin belirlenmesi, havzadaki akiferlerin beslenme alanı yükseltilerinin hesaplanması, farklı kökenli suların ayırtılması ile su-kayaç etkileşimi gibi hidrojeolojik süreçleri açıklamak amacıyla duraylı izotop örneklem çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Eylül 2019 ve Aralık 2019 dönemlerinde Seyfe Gölü havzasının yüzey drenaj alanı içerisinde belirlenen 40 su noktasından (kaynaklar, kuyular, dere ve kar) yerinde ölçüm ve duraylı izotop örneklemeleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanındaki su noktalarının beslenme ve boşalım ilişkilerinin yorumlanması için yüzey drenaj alanında yer alan doğal kaynak boşalmaları örneklem noktası olarak tercih edilmiştir. Bu kaynakların boşalım noktalarına yakın veya litolojik birimleri doğrudan boşaltıyor olması göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca örneklem noktaları havzadaki jeolojik birimleri temsil edecek şekilde seçilmiştir. Kuyu örneklemelerinde ise kuyulardaki filtrelenmiş kısımların farklı akifer birimleri temsil ediyor olmasına dikkat edilmiştir.

Yapılan yerinde ölçümlerde suların pH, sıcaklık (T), özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ-25°C/μS-cm) ve çözülmüş oksijen (ÇO) gibi fizikokimyasal özellikleri Hanna marka taşınabilir çok parametrelili su kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Duraylı izotop örneklem çalışmaları arazide yerinde gerçekleştirilmiş ve su örnekleri 60 ml' lik polietilen şişeler içerisine hava kalmayacak şekilde alınarak serin yerde muhafaza edilmiş ve laboratuvara ulaştırılmıştır.

Havza ölçeğinde örneklenen yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının duraylı izotop analizleri Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Duraylı İzotop Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Örneklerin duraylı izotop içerikleri Los Gatos Research (LGR) Liquid Isotopic Water Analyzer cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Viyana Standart Ortalama Okyanus Suyu (VSMOW) ölçeğine göre normalize edilmiştir. Döteryum ve Oksijen-18 izotoplarının oranı Standart Ortalama Okyanus suyundan binde sapma (δ) olarak verilmiştir. δ¹⁸O ve δ²H analizlerinin ortalama hata payı ²H için ±‰ 0,41-0.59 VSMOW; ¹⁸O için ±‰ 0.07-0.08 VSMOW düzeyindedir.

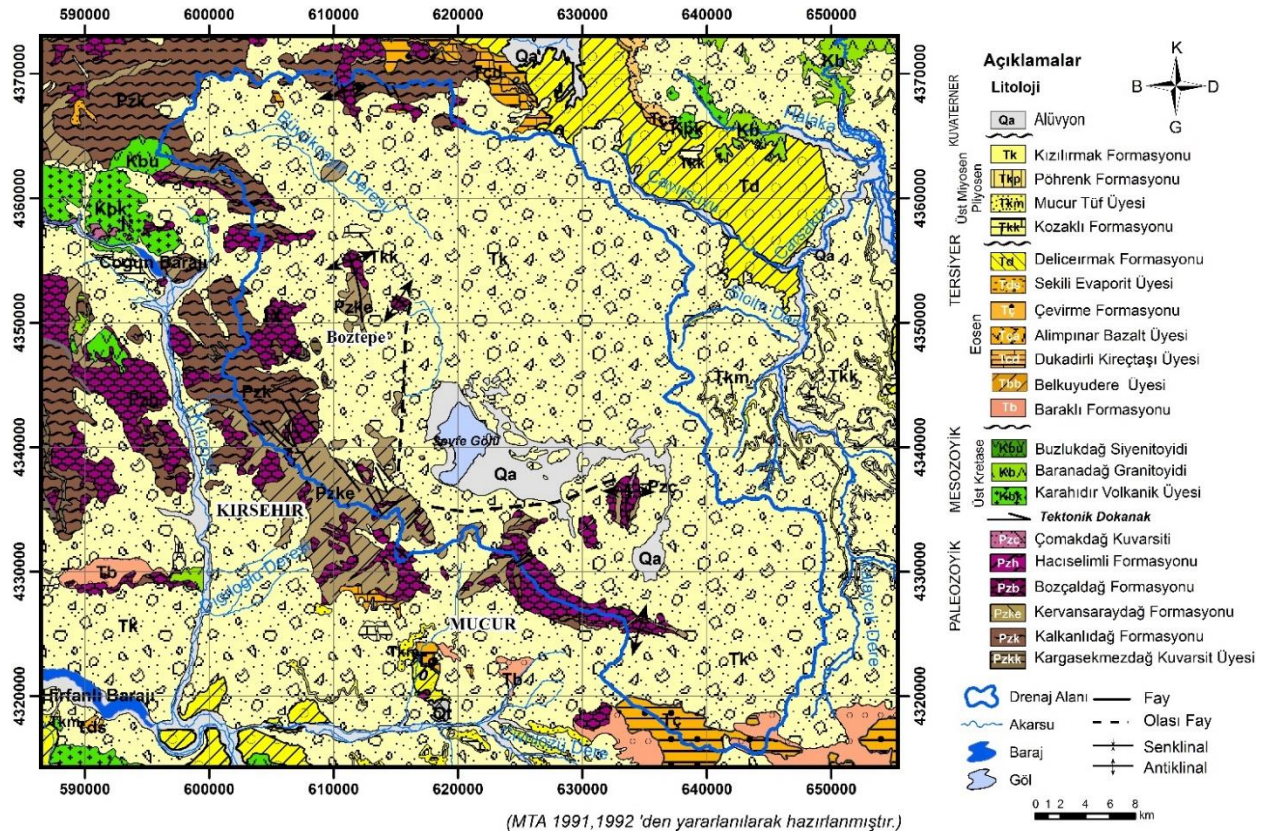
4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

4.1. Çalışma Alanının Jeolojisi (Geological Outline of the Study Area)

Çalışma alanının jeolojisi Seyfe Gölü havzası yüzey drenaj alanı içerisinde yüzeyleyen litolojik birimler temel alınarak incelenmiştir. Buna göre havzada Paleozoyik yaşlı Kırşehir Masifi metamorfikleri, Üst Eosen ve Miyosen-Pliyosen yaşlı sedimanter birimler ile Kuvaterner yaşlı alüvyon birimler yüzeylemektedir. Çalışma alanının jeolojisi ve litolojik birimlerin stratigrafisi geçmişte yapılan jeolojik haritalama çalışmaları (MTA, 1991; MTA, 1992) temel alınarak verilmiştir (Şekil 2).

Çalışma alanının temelini litostatigrafik olarak Paleozoyik yaşlı Kalkanlıdağ, Kervansaraydağ ve Bozçaldağ Formasyonları oluşturmaktadır. Havzada metamorfik temelin tabanı görülmezken metamorfik temel kalınlığı 1000 m ile 2000 m arasında değişmektedir (MTA, 2009).

Kırşehir Masifinin alt seviyelerini oluşturan Kalkanlıdağ Formasyonu magmatik kökenli kayaların metamorfizmasıyla oluşmuştur. Birim amfibolit şist, kuvarsit şist, biyotit-muskovit şist, kalk şist, granitik gnays, gözlü gnays ve biyotit-muskovit gnaysdan oluşmaktadır (MTA, 2009). Formasyon Seyfe Gölü havzasının batı ve kuzeybatısında geniş yüzlekler vermektedir. Bu birim Paleozoyik yaşlı Kervansaraydağ Formasyonu ve Bozçaldağ Formasyonu tarafından üzerlenmektedir (MTA, 1991). Birim üste doğru Kervansaraydağ Formasyonu ile geçişlidir (MTA, 1991). Kervansaraydağ Formasyonu; biyotit-muskovit şist, piroksen şist, amfibol şist ve daha az miktarda klorit şist, talk şist, gnays ile mermer bant ve mercerlerinden oluşmaktadır (DSİ, 2004). Kıvrımlanma ve yapraklanmanın oldukça iyi geliştiği formasyon, havza batısında Boztepe yakınlarında yüzlekler vermektedir. Birim kendisini üzerleyen Bozçaldağ Formasyonu ile düşey ve yanal yönde geçişlidir (DSİ, 2004).



Şekil 2. Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Geological map of the study area and its surroundings)

Bozçaldağ Formasyonu ise masif yapılı, kırıklı-çatlaklı, iri kristalli, şeker dokulu, gri beyaz renkli orta-kalın tabakalı mermerlerden oluşmaktadır (MTA, 2009). Birim Seyfe Gölü havzasının güneyinde ve kuzeyinde Göllü, Çimeli, Boztepe, Karacaören, Gümüşkümbet köylerinde parçalı bloklar halinde kristalize kireçtaşları ile mermer seviyelerden oluşan yüzlekler vermektedir. Paleozoyik metamorfik temeli oluşturan Kalkanlıdağ, Kervansaraydağ ve Bozçaldağ Formasyonları; Tersiyer yaşlı sedimanter birimler tarafından açısız uyumsuzlukla üzerlenmektedir (MTA, 2009).

Tersiyer yaşlı birimler havzada Üst Eosen ve Miyosen-Pliyosen yaşlı birimler ile temsil edilmekte ve geniş bir alanda yüzeylenmektedirler. Havzada Üst Eosen; Baraklı Formasyonu ve Çevirme Formasyonu ile temsil edilmektedir. Baraklı Formasyonu havzanın güneydoğusunda İlice köyü yakınlarında çok sınırlı bir alanda yüzeylenen, kırmızı kahve renkli tutturulmamış, gevşek kumtaşı, çakıltası ve çamurtaşlarından oluşmaktadır (Seymen, 1982). Birim üstte doğru Çevirme Formasyonu ile yan ve düşey yönde geçişlidir. Birim kalınlığı 100 m ile 700 m arasında değişmektedir (MTA, 2009). Çevirme Formasyonu ise çakıltası, kumtaşı, siltaşı, çamurtaşı, kiltası ve marn birimlerinden oluşmaktadır (DSİ, 2004). Bu birim Seyfe Gölü havzasının güneydoğusunda Yeniyağan köyü yakınlarında yüzlek vermektedir. Birim kalınlığı 200 m ile 250 m arasında değişmektedir (DSİ, 2004).

Çevirme ve Baraklı Formasyonlarının üzerine Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızılırmak Formasyonu açısız uyumsuzlukla gelmektedir. Kızılırmak Formasyonu havza içerisinde çok geniş bir topografyada yüzeylenmekte ve Paleozoyik temeli örtmektedir. Birim kızıl renkli çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı, kiltası, marn, gölsel kireçtaşı ve jips seviyelerinin araldanmasından oluşmaktadır (DSİ, 1979).

Kızılırmak Formasyonu ise havzada en genç birim olan Kuvaterner yaşlı alüvyon birimler tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir (MTA, 1991). Alüvyon birimler Seyfe köyü doğusunda ve Horla-Badıllı mevkiinde kumlu killi alüvyon ve çamurtaşlarıyla temsil edilmektedir. Birim kalınlığı 10 m ile 15 m arasında değişmektedir (DSİ, 1979).

4.2. Çalışma Alanının Hidrojeolojisi (Hydrogeological Outline of the Study Area)

Seyfe Gölü havzasındaki jeolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri belirlenmiş ve çalışma alanının hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 3). Alanda yüzeylenen litolojik birimler; suyu taşıma ve iletme özelliklerine göre geçirimli, geçirimsiz ve yarıgeçirimli birimler olarak üç ayrı grupta ayrılmış ve haritalanmıştır. Çalışma alanında yüzeylenen hidrostratigrafik birimler aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

4.2.1. Geçirimli Birimler (Permeable Units)

Kırşehir Masifi serileri içerisinde yer alan mermer seviyeler ve kristalen kireçtaşları havzadaki tektonik süreçlerin etkisi ile kırıklı ve çatlaklı bir yapı kazanmıştır. Dolayısıyla ikincil gözeneklilik kazanmış Paleozoyik yaşlı mermer seviyelerin kırıklı, çatlaklı zonları yeraltısuyunu taşıması ve iletmesi nedeniyle akifer özelliği göstermektedir. Mermer birimler havzanın kuzeyinde, batısında ve güneyinde yüzeyde görülmektedir. Havza içerisinde kristalize kireçtaşı ve mermer akiferinin kalınlığı değişmektedir.

Havzada açılan DSİ kuyularının litolojik logları incelendiğinde; mermer ve kristalize kireçtaşı akiferinin kalınlığı Malya bölgesinde açılan kuyularda 26 m ile 68 m arasında, Boztepe bölgesinde açılan kuyularda 40 m ile 43 m arasında, Karacaören bölgesinde açılan kuyularda 40 m, Eskidoğanlı bölgesinde açılan kuyularda 78 m ile 80 m arasında, Yenidoğanlı bölgesinde açılan kuyuda 60 m, Kızıldağyeniyapan bölgesinde açılan kuyuda 150 m, Göllü bölgesinde açılan kuyuda ise 100 m'dir (DSİ, 2004).

Paleozoyik yaşlı mermer ve kristalize kireçtaşları birimlerinde açılan kuyuların debileri 11.67 l/s ile 94.4 l/s, iletimlilik değerleri 32 ile 4699 m²/gün, özgül debileri ise 1.4 ile 45.8 l/s/m arasında değişmektedir (DSİ, 2004). Havzanın Malya bölgesinde açılan 10766, 10768 ve 14219B numaralı DSİ kuyularının debileri havzanın diğer bölgelerindeki mermer ve kireçtaşı birimlerinde açılmış kuyulara göre daha yüksek verime sahiptir. Ortalama kuyu debileri ise 80 l/s ile 94.4 l/s arasında değişmektedir (DSİ, 2004). Havzadaki bazı kuyularda ise mermer seviyeler içerisinde şist bantları geçilmiştir. Mermer, şist ardalımalı kuyularda ise kuyu verimlerinin daha düşük olduğu belirtilmiştir (DSİ, 2004).

Havzada Seyfe Gölü ve çevresinde yer alan ince kum, çakıl ve killerden oluşan, kalınlığı 10 m ile 15 m arasında değişen alüvyon birimler yer almaktadır. Havzada alüvyon birimlerin kalınlığının ve yayılımının fazla olduğu, bölge halkının keson kuyularla su alabildiği kesimlerde birincil gözeneklilik yüksek olup; birim geçirimli özelliktedir (Şekil 3). Ancak birimin kil içeren seviyelerinin kalınlaştığı kesimlerinin geçirimsiz özellikte olduğu düşünülmektedir.

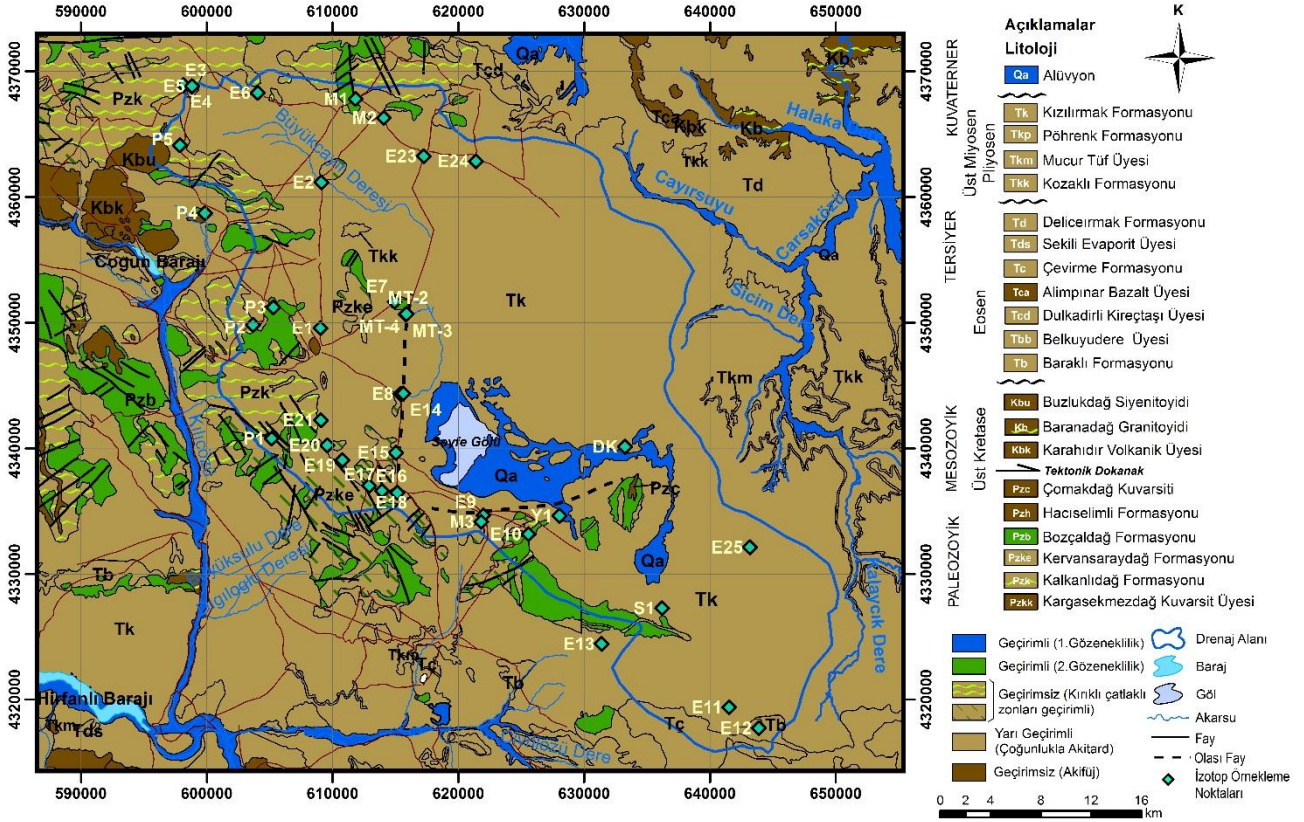
Seyfe Göl alanı kapalı bir havza içerisinde bulunmaktadır. Havza genelinde yeraltısuyu akım yönü Seyfe Gölü'ne doğrudur. Göl alanına yakın kesimlerde açılan 858, 860, 861 ve 4093 numaralı kuyuların litolojik logları incelendiğinde; göl tabanında hidrojeolojik açıdan geçirimsiz Neojen yaşlı killi, marnlı ve çamurtaşı katmanlarından oluşan seviyelerin yer aldığı görülmektedir. Ayrıca kuyu debilerinin 0.4 l/s ile 2.4 l/s arasında değiştiği ve verimin düşük olduğu belirtilmiştir (DSİ, 2004). Dolayısıyla Seyfe Gölü tabanından yeraltısuyuna sızmanın gerçekleşmediği veya ihmal edilebilecek düzeyde olduğu düşünülmektedir.

4.2.2. Yarıgeçirimli Birimler (Semipermeable Units)

Çalışma alanında Kızılırmak Formasyonu'nun geçirimsizliği değişkenlik göstermektedir. Kuyu logları incelendiğinde; birimde açılan kuyuların verimlerinin havzanın doğusunda ve batısında değiştiği görülmektedir. Kızılırmak Formasyonunda açılan sondaj kuyularının bir kısmından oldukça düşük verimler (0.2-0.6 l/s) elde edilirken; bazılarında ise görece daha yüksek verimler (2.5-3.4 l/s) alınabildiği görülmektedir. Kuyuların özgül debileri ise 0.01 l/s/m ile 0.2 l/s/m arasında değişmektedir (DSİ, 1979; DSİ, 2004). Düşük verim alınan kuyular genellikle havzanın doğusunda yer almaktadır. Bu kuyularda Kızılırmak Formasyonu'nun killi, siltli ve marnlı seviyeleri kesilmektedir. Formasyonun kireçtaşı, kumtaşı, çakıltası seviyelerinin kesilmekte olduğu kuyulardan ise görece daha yüksek verimler alınabilmektedir (DSİ, 2004). Dolayısıyla havzada geniş bir topografyaya yayılmış olan Tersiyer yaşlı birimlerin kumtaşı-çakıltası ile killi kireçtaşı seviyeleri yarı geçirimli (akitard) özelliktedir (Şekil 3).

4.2.3. Geçirimsiz Birimler (Impermeable Units)

Çalışma alanındaki Paleozoyik yaşlı Kırşehir masifi metamorfik serilerine ait şist, kuvarsit, gnays ve amfibol şist gibi metamorfik kayalar ile yüzey drenaj alanı içerisinde sınırlı bir alanda yüzeyleyen Mesozoyik yaşlı granit, siyenit, granodiyorit gibi magmatik kayaların kırıklı çatlaklı olmayan zonları yeraltısuyu taşıması ve iletmemesi nedeniyle geçirimsiz (akifüj) özellik göstermektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanının hidrojeoloji haritası ve örnekleme noktaları (Hydrogeological map of the study area and the sampling points)

4.3. Seyfe Gölü Havzasındaki Su Kaynaklarının Duraylı İzotop İçerikleri (Stable Isotope Contents of the Water Resources in the Seyfe Lake Basin)

Eylül 2019 dönemi duraylı izotop analiz sonuçlarına göre örneklerin ortalama Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) ve Döteryum ($\delta^2\text{H}$) içerikleri sırasıyla -10.04 VSMOW (‰) ve -71.54 VSMOW (‰) olarak ölçülmüştür. Eylül ayı izotop örnekleme noktasının en düşük Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) içeriği -11.97 VSMOW (‰) ile Paleozoyik yaşlı birimleri temsil eden P1 su noktası; en yüksek Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) içeriği ise -0.86 VSMOW (‰) değeri ile drenaj kanalını temsil eden DK su noktasıdır (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışma alanında örneklenen su noktalarının duraylı izotop içerikleri, Eylül-2019 (Stable isotope contents of the water samples in the study area, September-2019)

EYLÜL 2019	$\delta^2\text{H}$ (PERMİL)	$\delta^{18}\text{O}$ (PERMİL)	YÜKSELTİ (M)
Minumum	-80.88	-11.97	1108
Maksimum	-27.61	-0.86	1370
Ortalama	-71.54	-10.04	1187

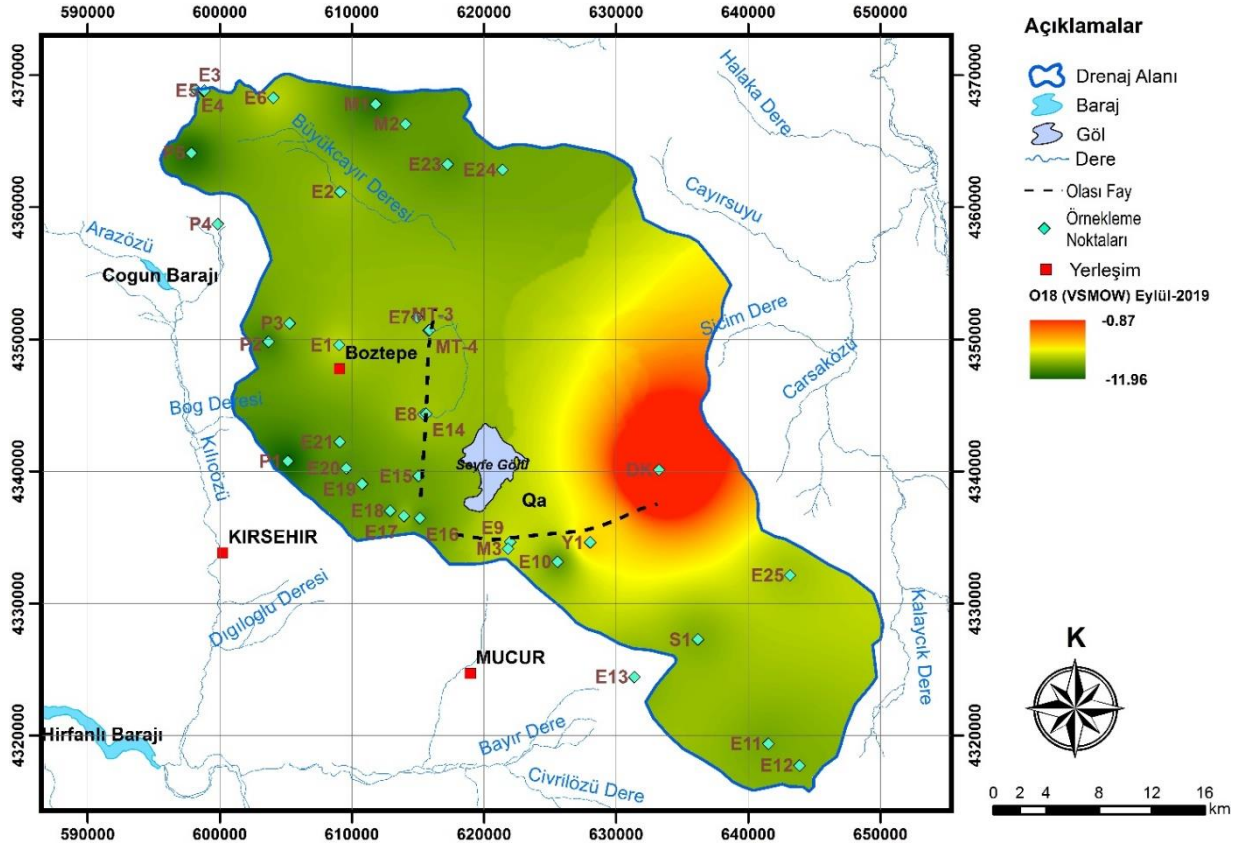
En yüksek Döteryum ($\delta^2\text{H}$) içeriği ise -27.61 VSMOW ile (‰) DK su noktası; en düşük Döteryum ($\delta^2\text{H}$) içeriği ise -80.88 VSMOW (‰) ile havzanın kuzeybatısındaki Paleozoyik yaşlı şist birimlerini temsil eden Hamurlubeşler yerleşim yerindeki P5 su noktasıdır (Tablo 1).

DK ve Y1 örnekleri açık yüzeyden sürekli buharlaşma etkisi altında kalan su noktalarıdır. Y1 su noktası -8.03 $\delta^{18}\text{O}$ (VSMOW ‰) içeriğine; DK su noktası ise -0.86 $\delta^{18}\text{O}$ (VSMOW ‰) içeriğine sahiptir (Şekil 4).

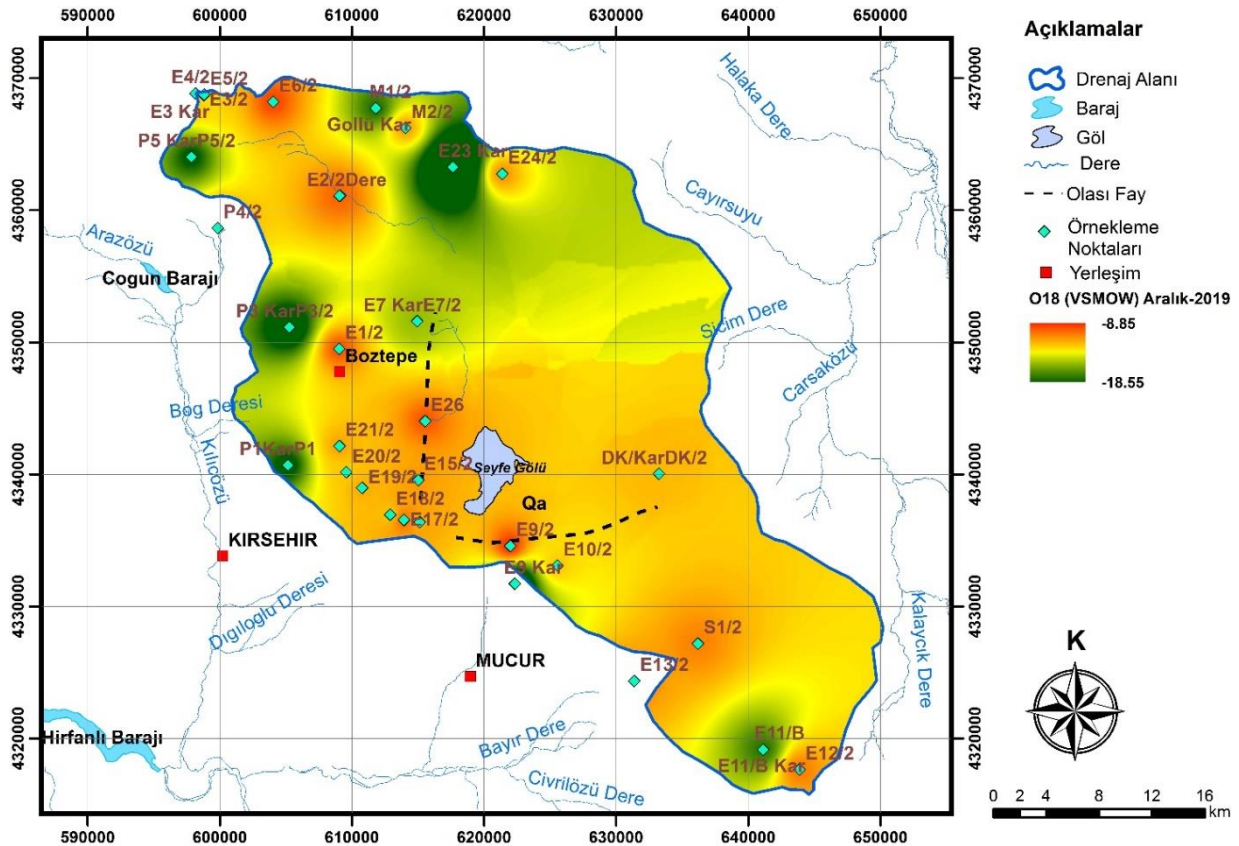
Aralık 2019 dönemi duraylı izotop analiz sonuçlarına göre örneklerin ortalama Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) ve Döteryum ($\delta^2\text{H}$) içerikleri ise sırasıyla -11.42 VSMOW (‰) ve -82.64 VSMOW (‰) olarak ölçülmüştür. Aralık ayı izotop örnekleme noktasının en düşük Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) içeriği -20.32 VSMOW (‰) ile alanın batısındaki Çimeli yerleşim yerinden örnekleme yapılan P3 kar noktası; en yüksek Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) içeriği ise -3.29 VSMOW (‰) değeri ile drenaj kanalını temsil eden DK su noktasıdır (Şekil 5).

En yüksek Döteryum ($\delta^2\text{H}$) içeriği -42.89 VSMOW ile (‰) DK su noktası; en düşük Döteryum ($\delta^2\text{H}$) içeriği ise -

154.92 VSMOW (‰) ile havzanın batısındaki Paleozoyik yaşlı mermer seviyelerin yer aldığı Çimeli yerleşim yerinden örnekleme yapılan P3 kar noktasıdır (Tablo 2).



Şekil 4. Havzada örneklenen su noktalarının Oksijen-18 dağılımı, Eylül-2019) (Spatial distribution of Oxygen-18 values of the water samples in the basin, September-2019)



Şekil 5 Havzada örneklenen su noktalarının Oksijen-18 dağılımı, Aralık-2019) (Spatial distribution of Oxygen-18 values of the water samples in the basin, December-2019)

Tablo 2. Çalışma alanında örneklenen su noktalarının duraylı izotop içerikleri-Aralık 2019 (Stable isotope contents of the water samples in the study area-December 2019)

ARALIK 2019	$\delta^2\text{H}$ (PERMİL)	$\delta^{18}\text{O}$ (PERMİL)	YÜKSELTİ (M)
Minimum	-154.92	-20.32	1108
Maksimum	-42.89	-3.29	1390
Ortalama	-82.64	-11.42	1208

4.4. Oksijen 18-Döteryum İlişkisi (Relationship between Oxygen 18-Deuterium)

İzotop hidrojeolojisi çalışmalarında meteorik suların duraylı izotop (Oksijen-18, Döteryum) içerikleri; enlem, sıcaklık, deniz seviyesinden yükseklik ve mevsimsel etkilere bağlı olarak değişmektedir (Gat ve Gonfiantini, 1981). Yağışa kaynak oluşturan su buharının duraylı izotop içeriği; sıcaklık düştükçe, düşük kotlardan yüksek kotlara çıkıldıkça ve düşük enlemlerden yüksek enlemlere doğru gittikçe negatifleşmektedir (Gat ve Gonfiantini, 1981). Yine mevsimsel olarak kış yağışları yaz yağışlarına göre daha fakir izotop içeriğine sahiptir (Clark ve Fritz, 1997).

Çalışma alanında örneklenen su noktalarının birbirlerinden oldukça farklı izotop içeriklerine sahip oldukları belirlenmiştir. Havzada örneklenen su noktalarının $\delta^{18}\text{O}$ değerleri incelendiğinde; genellikle yükseklik arttıkça, izotop içeriklerinin negatifleştiği görülmektedir.

Örnekleme noktalarının çalışma alanı içerisindeki konumları, Eylül 2019 ve Aralık 2019 dönemlerinde yerinde ölçüm ve duraylı izotop analiz sonuçları sırasıyla Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5, Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir. Havza ölçeğinde izotop örnekleme yapılan su noktalarının Eylül 2019 ve Aralık 2019 dönemlerindeki Oksijen-18 ve Döteryum içerikleri şekiller üzerinde her iki dönem için gösterilmiştir (Şekil 6 ve Şekil 7).

Bu çalışmada yerel meteorik su doğrularını belirlemeye yönelik şekilde (kar örneklemleri haricinde) dönemsel yağış örneklerinin izotop analizleri gerçekleştirilememiştir. Havzadaki arazi çalışmalarının devam etmesi nedeniyle yağış örneklemleri yapıldıkça yağışların duraylı izotop analizleri gerçekleştirilecektir.

2019 Eylül ve 2019 Aralık dönemlerinin analiz sonuçları değerlendirildiğinde; örneklenen su noktalarının farklı meteorik doğrular üzerinde kümelendikleri görülmektedir. Havzada örneklenen su noktalarının; Küresel Meteorik Su Doğrusu dışında; yaklaşık olarak döteryum fazlası +15 ve +5 olan iki farklı meteorik doğru üzerinde yer aldıkları görülmektedir (Şekil 6 ve Şekil 7).

Eylül 2019 döneminde örneklenen E14, MT-3, MT-1, P4, E7, S1, E12, E13, E5, E11, E15, E10 ve E23 su noktaları ise döteryum fazlası +10 olan Küresel Meteorik Su Doğrusu (KMSD) üzerinde yer almaktadır. Küresel Meteorik Su Doğrusu dünyadaki çeşitli yağış istasyonlarından elde edilen yağışların duraylı izotop içeriklerine göre belirlenmiştir (Craig, 1961). Bu verilere göre global ölçekte, eğimi 8 döteryum fazlası +10 olan lineer bir ilişki ile temsil edilen su doğrusu belirlenmiştir (Craig, 1961). Bu örneklerden yeraltısuyunu temsil eden su noktaları Yenidoğanlı bölgesindeki MT-1 ve MT-3 kuyuları ile Seyfe köyündeki E15 kuyusudur. Havzadaki eğimi 8 olan doğru üzerinde kümelenen bu su noktaları meteorik kökenli yağışlardan beslenmektedir. Ayrıca çalışma alanında Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı birimlerden çıkış yapan su noktalarının çoğunluğunun Küresel Meteorik Su Doğrusu üzerinde yer aldıkları görülmektedir.

DK ve Y1 su noktaları ise açık yüzeyden sürekli buharlaşma etkisi altında kalan su kütleleri olmaları nedeniyle Küresel Meteorik Su Doğrusundan sapma gösterip, eğimi yaklaşık olarak 5 olan buharlaşma eğrisi üzerinde yer almaktadır. Genellikle buharlaşma doğrusunun eğimi 4 ile 6 arasında değişmektedir (Clark ve Fritz, 1997). Buharlaşma doğrusunun eğimini buharlaşmanın olduğu andaki bağıl nem düzeyi, sıcaklık gibi faktörler belirlemekle birlikte, bağıl nem miktarı arttıkça doğrunun eğimi artmaktadır (Clark ve Fritz, 1997). Bağıl nem içeriğinin %25'den az olması durumunda buharlaşma doğrusunun eğimi 4'e yakın, bağıl nem içeriğinin %25 ile %75 arasında değişmesi durumunda ise doğrunun eğiminin 4 ile 5 arasında değişebileceği belirtilmektedir (Clark ve Fritz, 1997). Kırşehir Meteoroloji İstasyonu verilerine göre 1970'ten günümüze kadar ölçülmüş bağıl nem miktarı %60'tır. Dolayısıyla çalışma alanındaki DK ve Y1 örneklerinin üzerinde buldukları buharlaşma doğrusunun eğimi ile havza yakınlarında ölçülen bağıl nem içeriği uyumlu bir ilişki göstermektedir.

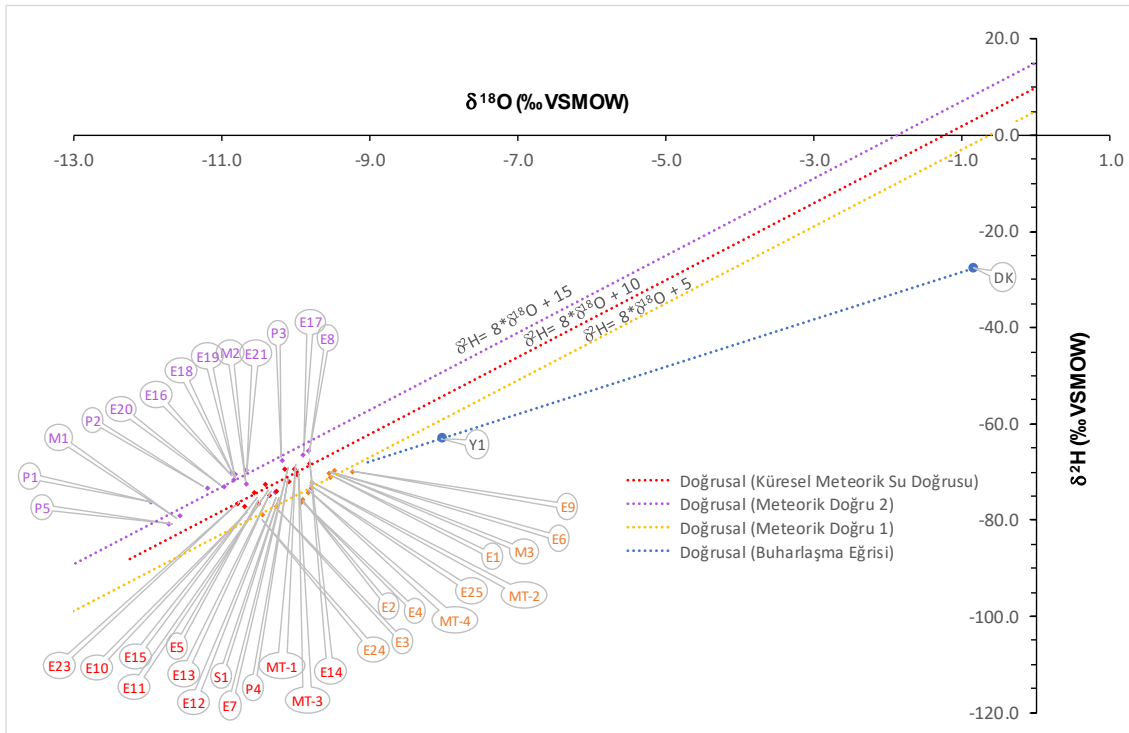
Havzada her iki dönemde de bazı su noktaları ise döteryum fazlası +5 olan meteorik doğru üzerinde yer almaktadır. Döteryum fazlası değerindeki azalmanın nedenini inceleyen çalışmalar değerlendirildiğinde; kurak yarı kurak iklim bölgelerinde bu duruma yol açan etkinin "bulut altı buharlaşması" olabileceği belirtilmektedir. Bulut altı buharlaşma etkisi; bulut tabanının altından düşen yağışın havada tekrar tekrar buharlaşmaya uğraması ve izotopik farklılaşması ile açıklanmaktadır. Bu sürecin yağışın ağır izotoplarca zenginleşmesine neden olduğu ve

düşük döteryum fazlası değerler göstermesi ile sonuçlandığı belirtilmektedir. (Froehlich vd., 2002; Gat, 2005; Peng vd., 2007; Delattre vd., 2015; Salamalikis vd., 2016; Bershaw, 2018).

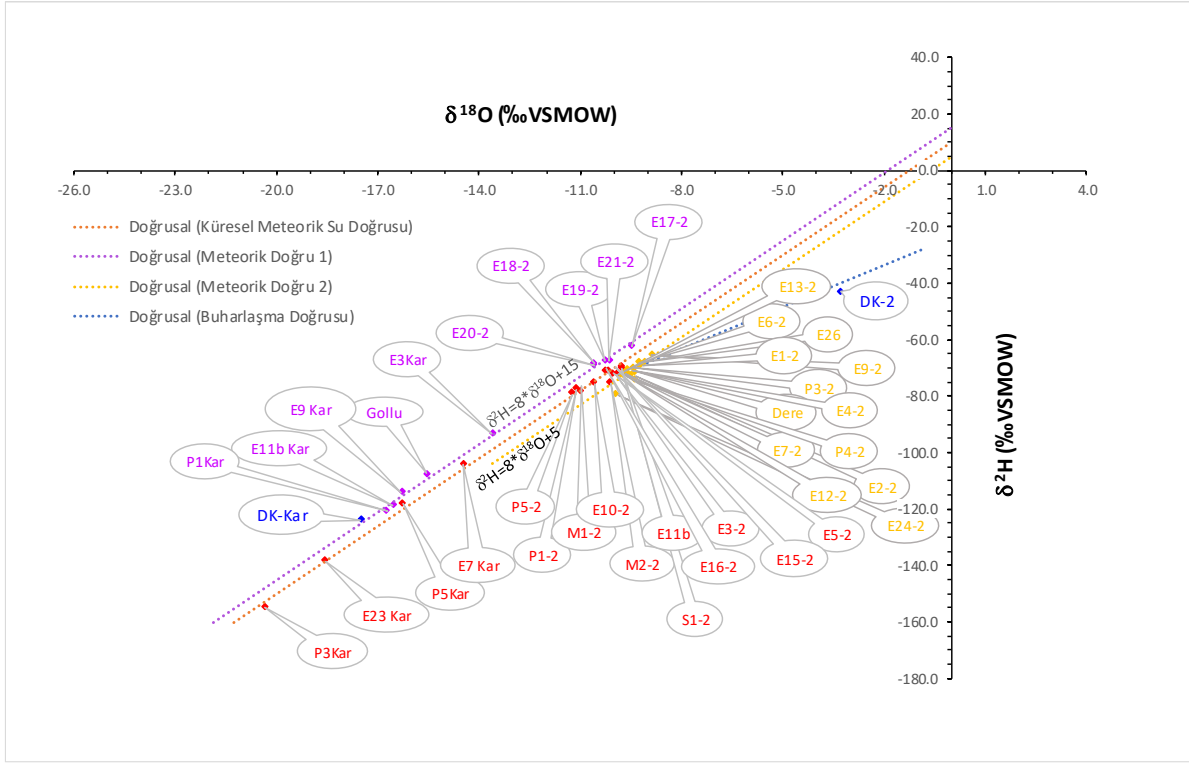
Dolayısıyla Seyfe Gölü havzasındaki bazı su noktalarının düşük döteryum fazlası değerleri; gerek havzanın kurak iklim koşullarında olması; gerekse yağışın düşerken havada tekrar tekrar buharlaşmaya uğraması ve ağır izotoplarca zenginleşmesi gibi süreçlerin etkisi altında olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte döteryum fazlalığındaki değişime neden olan süreçlerin kapsamlı olarak açıklanabilmesi için; havza için temsil edici yağış örneklemelerinin gerçekleştirilmesi ve yorumların analizlerle desteklenmesi gerekmektedir.

Her iki dönemde de havzada metamorfik birimleri temsil eden su noktaları (E8, E17, P3, E21, M2, E19, E18, E16, E20, P2, M1, P1, P5) döteryum fazlası 15 olan doğru üzerinde yer almaktadır. Döteryum fazlası değerler havzada örneklenen su noktaları için $Df = \delta^2H - 8 * \delta^{18}O$ eşitliğinden (Dansgaard, 1964) hesaplanmıştır. Döteryum fazlası değerler yağışı oluşturan buharlaşmanın kökenine işaret etmektedir (Gat vd., 1994). Ayrıca bu değerleri buharlaşma yüzeyinin sıcaklığı, rüzgar hızı ve nem içeriği miktarı gibi faktörler kontrol etmektedir (Froehlich vd., 2002). Döteryum fazlası yüksek değerler denizel kökenli yağışları gösterirken, döteryum fazlası düşük değerler karasal kökenli yağışları göstermektedir (Clark ve Fritz, 1997). Aynı yağış rejiminden etkilenen suların döteryum fazlası değerleri birbirlerine yakın değerler göstermektedir (Froehlich vd., 2002). Buna göre havzadaki su kaynaklarının farklı hatlar üzerinde kümelenmeleri nedeniyle alanda farklı kökenli yağış rejimlerinin hakim olabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla aynı meteorik su doğrusu üzerinde bulunan su noktalarının benzer kökenli yağışlardan beslendikleri, farklı hatlara düşen su kaynaklarının ise farklı yağış rejimleriyle temsil edildikleri düşünülmektedir. Eylül-2019 ve Aralık-2019 analiz sonuçları değerlendirildiğinde havza batısını temsil eden meteorik doğrunun $\delta^2H = 8 * \delta^{18}O + 15$ şeklinde yazılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca diğer örnekleme noktalarına göre daha yüksek döteryum fazlasına sahip olunması, havza batı-kuzeybatısının; doğusuna göre daha farklı bir topografya, iklim koşulları veya farklı bir yağış rejimi ile temsil edildiğini düşündürmektedir. Bu durum havza batısının denizel kökenli yağışların etkisinde olduğu, buharlaşmanın hızlı ve ortamdaki nem düzeyinin düşük olduğunu göstermektedir.

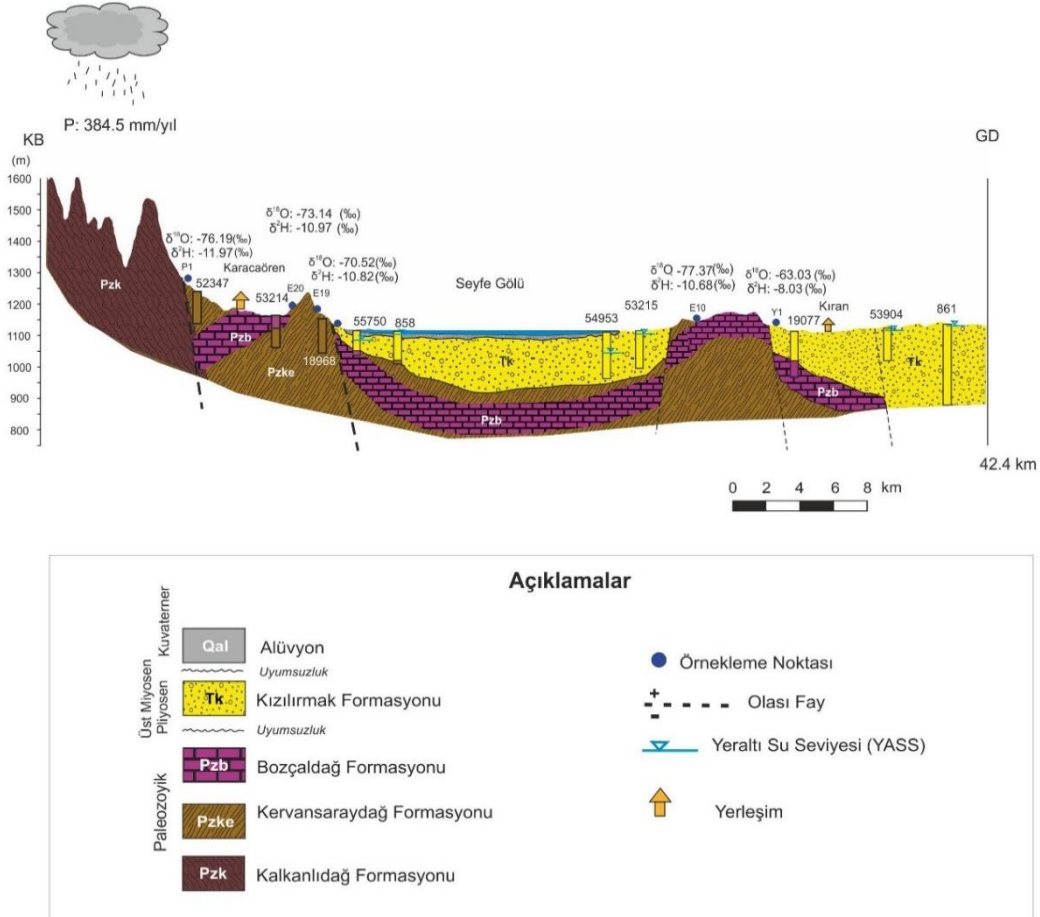
Çalışma alanındaki döteryum fazlası +15 ve +15'e yakınsayan değerlere sahip su noktaları genellikle havzanın batı-kuzeybatısında yer almaktadır. Döteryum fazlası +15 olan doğru üzerinde yer alan P1, P5 ve M1 kaynakları ise havzanın en yüksek kotlarını temsil etmektedir. Bu kaynaklar diğer su noktalarına göre daha yüksek kotlarda yer almaktadır ve yükseltiye bağlı olarak $\delta^{18}O$ içerikleri daha negatiftir (Şekil 6, Şekil 7). Dolayısıyla bu su noktalarının beslenme alanı yükseltileri diğer su noktalarına göre daha yüksektir. Ayrıca havzanın doğusundan batı-kuzeybatısına doğru akım yolu boyunca yükseltinin artmasıyla birlikte su noktalarının Oksijen-18 ve Döteryum içeriklerinin negatifleştiği görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 6. Havzadaki su noktalarının $\delta^{18}O$ ve δ^2H grafiği, Eylül-2019 (Plot of stable isotope contents ($\delta^{18}O$ ve δ^2H) of the water samples in the basin, September-2019)



Şekil 7. Havzadaki su noktalarının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ grafiği, Aralık-2019 (Plot of stable isotope contents ($\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$) of the water samples in the basin, December-2019)



Şekil 8. Havzanın KB-GD hattında şematik izotopik değişim (Schematic representation of the change in stable isotope contents from NW to SE of the basin)

Tablo 3. Seyfe Gölü havzasındaki örnekleme noktalarının yerinde ölçümleri, Eylül 2019 (Insitu measurements of the water samples in the Seyfe Lake basin, September 2019)

ÖRNEK NO	X	Y	YÜKSELTİ (m)	T	pH	ÖEİ ²⁵ (µS/cm)
P1	605156	4340698	1370	15.7	8.02	410
P2	603666	4349747	1240	17.6	7.32	710
P3	605284	4351136	1220	15.8	7.84	370
P4	599847	4358648	1190	16.2	7.52	810
P5	597851	4364038	1328	15.9	7.39	550
E1	609035	4349498	1155	19.4	7.86	460
E2	609110	4361089	1144	18.2	7.51	910
E3	598788	4368698	1260	14.8	7.58	720
E4	598155	4368843	1230	18.3	7.65	630
E5	598819	4368745	1265	16.4	7.73	720
E6	604037	4368211	1228	19.9	7.65	680
M1	611807	4367723	1285	14.5	7.79	640
M2	614056	4366218	1215	15.3	7.55	760
E7	614936	4351591	1142	20.7	7.86	690
E8	615409	4344250	1120	20.3	7.74	640
E9	621977	4334584	1121	17.4	7.84	540
M3	621810	4334070	1127	16.3	7.78	550
E10	625560	4333087	1200	17.6	7.77	780
Y1	628030	4334549	1119	19.9	8.05	1330
S1	636184	4327195	1142	21.2	7.2	3400
E11	641503	4319309	1187	16.3	7.93	660
E12	643866	4317658	1228	14.5	7.73	690
E13	631372	4324354	1204	19.5	7.96	670
E14	615615	4344289	1118	20.5	7.8	640
E15	615029	4339571	1131	16.2	8.25	740
E16	615133	4336386	1188	18	7.78	750
E17	613930	4336540	1194	17.2	7.85	820
E18	612891	4336936	1238	17.6	7.48	870
E19	610775	4338976	1216	18.4	7.74	510
E20	609570	4340156	1215	17.8	7.71	540
E21	609065	4342152	1200	17.3	7.81	530
MT-1	615820	4350596	1133	15.9	7.62	1730
MT-2	615813	4350581	1114	16.1	7.54	2010
MT-3	615790	4350582	1120	16.3	7.54	2000
MT-4	615869	4350611	1116	15.8	7.52	2340
E23	617234	4363173	1163	17.5	7.85	690
E24	621376	4362765	1176	16.3	7.15	1460
E25	643158	4332052	1126	15.2	7.84	950
DK	633231	4340043	1108	19.7	8.65	30500

Tablo 4. Seyfe Gölü havzasındaki örneklenen su noktalarının duraylı izotop içerikleri, Eylül 2019 (Stable isotope contents of the water samples in Seyfe Lake basin, September 2019)

ÖRNEK NO	$\delta^2\text{H}$ (‰VSMOW)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰VSMOW)	DÖTERYUM FAZLASI (DF)	YÜKSELTİ (m)	YERLEŞİM
P1	-76.19	-11.37	14.8	1370	Boztepe yolu
P2	-73.39	-11.2	16.2	1240	Çimeli
P3	-67.54	-10.19	14.0	1220	Çimeli
P4	-72.23	-10.09	8.5	1190	Kırkpınar
P5	-80.88	-11.72	12.9	1328	Hamurlu Besler
E1	-71.13	-9.53	5.1	1155	Külhüyük
E2	-76.54	-9.91	2.7	1144	Harmanaltı
E3	-77.17	-10.25	4.8	1260	Yukarı Hamurlu
E4	-76	-9.89	3.1	1230	Yukarı Hamurlu
E5	-76.65	-10.5	7.3	1265	Yukarı Hamurlu
E6	-70.33	-9.55	6.1	1228	Kartalkaya
M1	-79.12	-11.56	13.4	1285	Göllü
M2	-72.53	-10.67	12.8	1215	Uzunpınar
E7	-69.67	-10.13	11.4	1142	Yenidoğanlı
E8	-65.66	-9.83	13.0	1120	Eskidoğanlı
E9	-70.04	-9.23	3.8	1121	Yazıkınık
M3	-69.76	-9.46	5.9	1127	Yazıkınık
E10	-77.37	-10.68	8.1	1200	Budak
Y1	-63.03	-8.03	1.2	1119	Geyicek
S1	-74.24	-10.25	7.8	1142	Büyükburunağıl
E11	-72.63	-10.39	10.5	1187	İlice
E12	-74.19	-10.28	8.1	1228	Avuç
E13	-74.95	-10.35	7.8	1204	Obruk
E14	-68.47	-9.81	10.0	1118	Eskidoğanlı
E15	-74.35	-10.54	10.0	1131	Seyfe
E16	-70.24	-10.88	16.8	1188	Gümüşkumbet
E17	-66.45	-9.9	12.8	1194	Dalakçı
E18	-71.75	-10.83	14.9	1238	Dalakçı
E19	-70.52	-10.82	16.0	1216	Karacaören
E20	-73.14	-10.97	14.6	1215	Karacaören
E21	-69.69	-10.66	15.6	1200	Karacaören
MT-1	-69.57	-10	10.4	1133	Yenidoğanlı
MT-2	-72.5	-9.77	5.7	1114	Yenidoğanlı
MT-3	-70.72	-9.97	9.0	1120	Yenidoğanlı
MT-4	-74.33	-9.82	4.2	1116	Yenidoğanlı
E23	-76.79	-10.77	9.4	1163	H.Öksüz kale
E24	-79.14	-10.43	4.3	1176	Üçkuyu Köyü
E25	-73.35	-9.79	5.0	1126	Hasanlar
DK	-27.61	-0.86	-20.73	1108	Drenaj Kanalı
Minumum	-80.88	-11.97	-20.7	1108	
Maksimum	-27.61	-0.86	16.8	1370	
Ort.Hata Payı	0.41	0.07			

Tablo 5. Seyfe Gölü havzasındaki su noktalarının yerinde ölçüm değerleri, Aralık 2019 (Insitu measurements of the water samples in the Seyfe Lake basin, December 2019)

ÖRNEK NO	X	Y	YÜKSELTİ (m)	T	pH	ÖEİ 25° (µS/cm)
P1/2	605156	4340698	1370	9.1	7.65	291
P1 Kar	605156	4340698	1390	-	*6.86	*62
P3/2	605284	4351136	1220	10.06	7.43	405
P3 Kar	605284	4351136	1220	-	*7.11	*52
P4/2	599847	4358648	1190	12.97	7.56	598
P5/2	597851	4364038	1328	11.95	7.25	406
P5 Kar	597851	4364038	1328	-	*7.18	*47
E1/2	609035	4349498	1155	4.05	6.38	412
E2/2	609110	4361089	1144	8.62	7.44	642
Dere	609058	4361074	1145	2.01	8.39	825
E3/2	598788	4368698	1260	12.37	7.65	515
E3 Kar	598788	4368698	1260	-	*7.34	*32
E4/2	598155	4368843	1230	8.73	7.43	446
E5/2	598819	4368745	1265	10.96	7.50	531
E6/2	604037	4368211	1228	12.37	7.65	515
M1/2	611807	4367723	1285	12.05	7.65	580
Göllü Kar	611807	4367723	1285	-	*7.06	*38
M2/2	614056	4366218	1215	12.21	7.47	538
E7/2	614936	4351591	1142	5.86	7.60	1029
E7 Kar	614931	4351599	1142	-	*6.83	*182
E9/2	621977	4334584	1121	10.57	7.56	396
E9 Kar	622321	4331721	1168	-	*7.17	*40
E10/2	625560	4333087	1200	6.27	7.67	514
S1/2	636184	4327195	1142	4.3	7.20	2733
E11/B Kar	641133	4319169	1188	-	*7.25	*47
E11/B	641133	4319169	1188	8.71	7.35	634
E12/2	643866	4317658	1228	11.38	7.57	503
E13/2	631372	4324354	1204	8.74	7.79	498
E15/2	615029	4339571	1131	15.02	7.87	541
E16/2	615133	4336386	1188	6.45	8.27	527
E17/2	613930	4336540	1194	6.03	7.67	587
E18/2	612891	4336936	1238	6.66	7.28	644
E19/2	610775	4338976	1216	6.46	7.63	356
E20/2	609570	4340156	1215	6.58	7.22	402
E21/2	609065	4342152	1200	9.53	7.32	390
E23 Kar	617638	4363257	1183	-	*6.94	*45
E24/2	621376	4362765	1176	13.66	7.09	1050
E26	615533	4344035	1120	8.66	7.57	452
DK/2	633231	4340043	1108	4.13	8.61	29850
DK/Kar	633231	4340043	1108	-	*8.02	*65

(*Labda ölçülmüştür.)

Tablo 6. Seyfe Gölü havzasında örneklenen su noktalarının duraylı izotop içerikleri, Aralık 2019 (Stable isotope contents of the water samples in Seyfe Lake basin, December 2019)

ÖRNEK NO	$\delta^2\text{H}$ (‰VSMOW)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰VSMOW)	DÖTERYUM FAZLASI (DF)	YÜKSELTİ (m)	YERLEŞİM
P1/2	-77.42	-11.1	11.4	1370	Boztepe
P1 Kar	-120.7	-16.72	13.1	1390	Boztepe
P3/2	-70.12	-9.44	5.4	1220	Çimeli
P3Kar	-154.92	-20.32	7.6	1220	Çimeli Kar
P4/2	-74.25	-9.4	1.0	1190	Kırkpınar
P5/2	-79.01	-11.26	11.1	1328	Hamurlu Besler
P5 Kar	-118	-16.26	12.1	1328	Hamurlu Besler
E1/2	-69.03	-9.23	4.8	1155	Külhüyük
E2/2	-72.75	-9.5	3.3	1144	Harmanaltı
Dere	-71.56	-9.38	3.5	1145	Kepir Dere
E3/2	-72.27	-9.89	6.9	1260	Yukarı Hamurlu
E3Kar	-93.27	-13.59	15.5	1260	Yukarı Hamurlu
E4/2	-70.56	-9.59	6.2	1230	Yukarı Hamurlu
E5/2	-71.19	-10.15	10.0	1265	Yukarı Hamurlu
E6/2	-67.78	-9.1	5.0	1228	Kartalkaya
M1/2	-78.05	-10.98	9.8	1285	Göllü
Göllü Kar	-107.9	-15.55	16.5	1285	Göllü Kar
M2/2	-75.07	-10.11	5.8	1215	Uzunpınar
E7/2	-71.88	-9.62	5.1	1142	Yenidoğanlı
E7 Kar	-103.97	-14.46	11.7	1142	Yenidoğanlı Kar
E9/2	-65.33	-8.85	5.5	1121	Yazıkınık
E9 Kar	-113.83	-16.28	16.4	1168	Yazıkınık Kar
E10/2	-75.15	-10.58	9.5	1200	Budak
S1/2	-69.51	-9.78	8.7	1142	Büyükburunağıl
E11b Kar	-118.62	-16.53	13.6	1188	İlice
E11b	-70.09	-9.79	8.2	1188	İlice/b
E12/2	-71.52	-9.68	5.9	1228	Avuç
E13/2	-72.74	-9.83	5.9	1204	Obruk
E15/2	-71.83	-10.03	8.4	1131	Seyfe
E16/2	-70.77	-10.26	11.3	1188	Gümüşkümbet
E17/2	-62.03	-9.47	13.7	1194	Dalakçı
E18/2	-68.3	-10.59	16.4	1238	Dalakçı
E19/2	-67.25	-10.27	14.9	1216	Karacaören
E20/2	-68.97	-10.59	15.8	1215	Karacaören
E21/2	-67.55	-10.14	13.6	1200	Karacaören
E23 Kar	-138.45	-18.56	10.0	1183	Hatunoğlu
E24/2	-79.16	-9.96	0.5	1176	Üçkuyu Köyü
E26	-68.15	-9.28	6.1	1120	Eskidoğanlı
DK/2	-42.89	-3.29	-16.6	1108	Drenaj kanalı
DK/Kar	-123.98	-17.47	15.78	1108	Drenaj kanalı
Minimum	-154.92	-20.32	-16.57	1108	
Maksimum	-42.89	-3.29	16.50	1390	
Ort. Hata Payı	0.59	0.08			

4.5. Oksijen-18 Beslenme Alanı Yükseltisi İlişkisi (Relationship Between Oxygen18 and Recharge Elevation)

İzotop hidrolojisi çalışmalarında havza ölçeğinde çeşitli su noktalarından gerçekleştirilen örneklemelerde kaynakların, yeraltısularının hangi yükseltilerden beslendiği ve yükselti ile duraylı izotop içeriklerinin nasıl değiştiğinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu süreçlerin belirlenmesinde Oksijen-18 duraylı izotopundan yararlanılmaktadır.

Yağıştan itibaren beslenme gerçekleştiği sonra, suyun akifer içerisindeki hareketi sırasında sıcaklıkta belirgin bir değişim olmadığı sürece duraylı Oksijen-18 izotopu içeriğinde bir farklılaşma görülmediği belirtilmektedir (Dansgaard, 1964). Dolayısıyla bu durumda boşalım noktasında örneklenen suyun duraylı oksijen izotopu içeriği beslenme koşullarındaki izotop içeriğini yansıtmaktadır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında örneklenen su noktalarının beslenme alanı yükseltisi hesaplamalarında Oksijen-18 izotopu kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında yağış verilerinin yetersiz olması nedeniyle Oksijen-18'in yükselti ile değişim oranı,

mevsimsel örneklenen kaynak çıkışları dikkate alınarak belirlenmiştir.

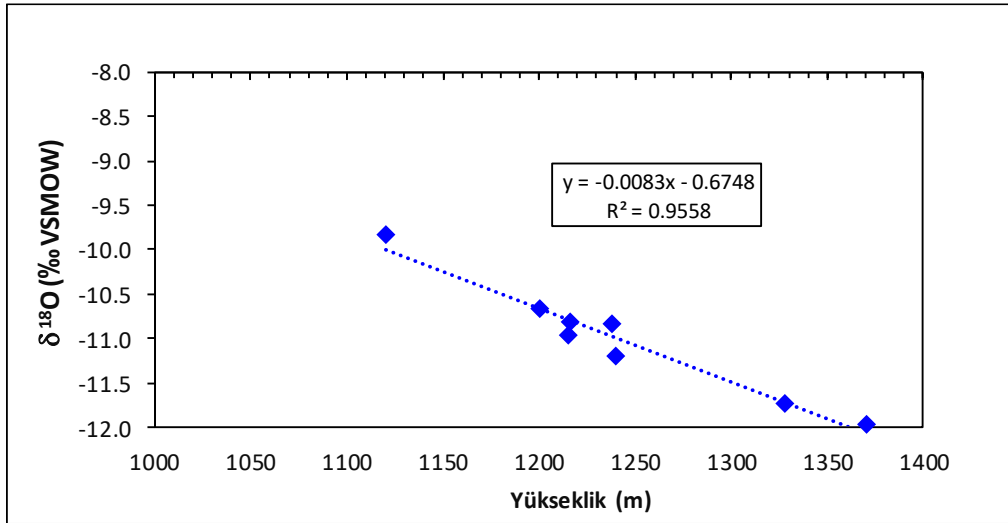
Genellikle yapılan çalışmalarda her 100 m'lik yükselti artışına, Oksijen-18 içeriğindeki fakirleşme miktarı ‰ 0.15 ile ‰ 0.50 arasında değişmektedir. Döteryum içeriğindeki fakirleşme ise ‰1.0 ile ‰ 4.0 arasındadır (Clark ve Fritz, 1997).

Havzadaki örneklerin gruplandırılması için eğimi 8 olan Küresel Meteorik Su Doğrusu temel alınmıştır. Buna göre farklı meteorik doğrular üzerinde kümelenmeler olduğu görülmüştür. Bu nedenle örneklerin beslenme alanı hesaplamalarında çeşitli gruplar belirlenmiştir. 1. grup için havzanın batısında +15 döteryum fazlası doğru üzerinde kümelenen, düşük debili akış yapan, metamorfik birimlerden çıkış yapan ve düşük elektriksel iletkenlik değerine sahip (P1, P2, P5, E8, E18, E19, E20 ve E21) su noktaları seçilmiştir (Şekil 9). Bu su noktaları ile yükseltiye karşılık Oksijen-18 ve Döteryum değişimini ifade eden regresyon eşitlikleri türetilmiştir. Havza genelinde Oksijen-18 izotopu ile türetilen regresyon eşitlikleri kaynak çıkış kotu ile beslenme alanı yükseltisi açısından daha anlamlı bir ilişki sunmuştur.

Havzanın batısı için Oksijen-18 ve Döteryum yükseklik ilişkilerine göre türetilen regresyon eşitlikleri aşağıda verilmiştir (Eşitlik 1 ve Eşitlik 2).

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0083 * \text{Yükseklik}(h) - 0.6748 \quad (R^2=0.96) \quad (1)$$

$$\delta^2\text{H} = -0.0522 * \text{Yükseklik}(h) - 7.9125 \quad (R^2=0.79) \quad (2)$$

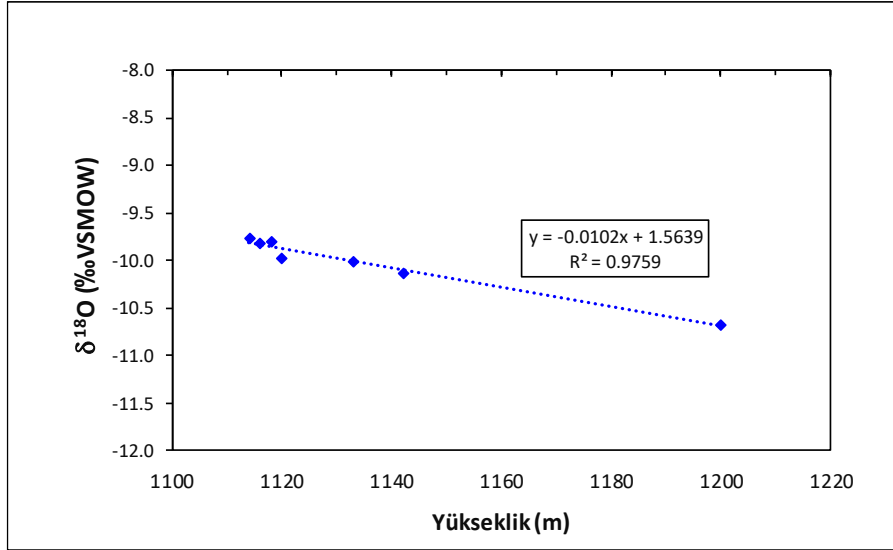


Şekil 9. Havzanın batısı için yükseklik-Oksijen-18 ilişkisi (Relationship between elevation and Oxygen18 for the western part of the basin)

Buna göre havzanın batısını temsil eden regresyon eşitliğine göre her 100 m'lik yükseklik artışına bağlı olarak ^{18}O içeriğindeki azalmanın ‰ 0.8; ^2H içeriğindeki azalmanın ise ‰ 5.2 oranında olduğu hesaplanmıştır. Havzanın batısında yer alan su kaynakları için türetilen Oksijen 18- yükseklik ilişkili regresyon eşitlikleri ile hesaplanan beslenme alanı yükselti hesaplamalarına göre; kaynakların, havzanın batı-güneybatı hattını sınırlandıran Kervansaray Dağları'nın 1200 m ile 1350 m arasında değişen yükseltilerinden beslenebilecekleri belirlenmiştir.

Çalışma alanı içerisinde Yenidoğanlı-Eskidoğanlı-Seyfe-Gümüşkumbet-Budak köylerinden geçen K-G uzanımlı olası gömülü fay hattının bulunduğu ve Seyfe Gölü havzasını besleyen ana kaynakların (Seyfe, Horla, Yenidoğanlı) fay hattı boyunca sıralandıkları literatürdeki çalışmalarda (DSİ, 1979; DSİ, 2004; MTA, 2009) belirtilmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen arazi çalışmalarında 2. grup olarak K-G hattını temsil ettiği düşünülen E7, E10, E14, MT-1, MT-2, MT-3 ve MT-4 su noktaları seçilmiş ve örneklenmiştir. Bu su noktaları kuzey güney hattı boyunca yüzeyleşmişlerdir. Havzanın kuzey-güney bölümü için seçilen su noktaları ile türetilen Oksijen-18 yükseklik değişimini ifade eden regresyon eşitliği aşağıda verilmiştir (Eşitlik 3).

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0102 * \text{Yükseklik}(h) + 1.5639 \quad (R^2=0.98) \quad (3)$$



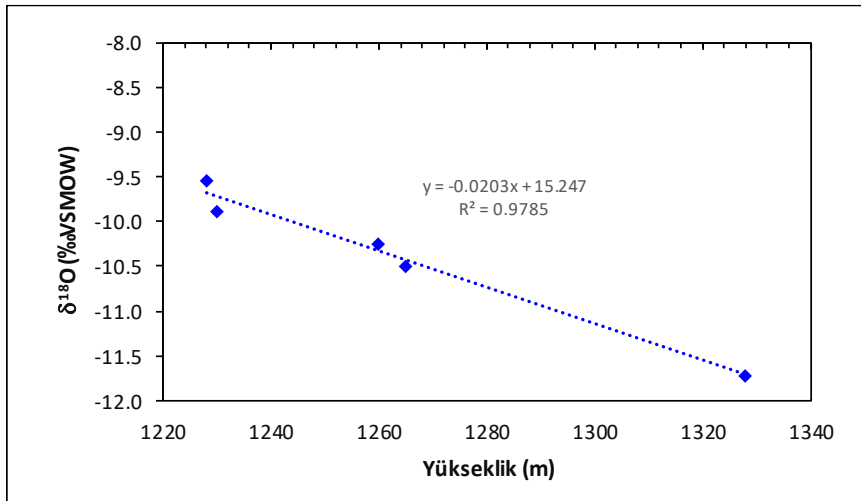
Şekil 10. Havzanın orta kesimi için yükseklik-Oksijen-18 ilişkisi (Relationship between elevation-Oxygen-18 for the middle section of the basin)

Buna göre havzanın orta kesimlerini temsil eden regresyon eşitliğine göre her 100 m' lik kot artışına bağlı olarak $\delta^{18}\text{O}$ içeriğindeki azalmanın ‰ 1.02 olduğu hesaplanmıştır (Şekil 10). Bu kaynakların ortalama beslenme alanı yükselteleri ise 1111 m ile 1197 m arasında değişmektedir.

Havzanın en yüksek yeri olan kuzeybatı bölümündeki (Hamurlubeşler ve Yukarı Homurlu) kaynak çıkışlarını temsil eden 3. grup ise E3, E4, E5, E6 ve P5 su noktaları olarak seçilmiştir. Kaynakların Oksijen-18 ile yükseltiyeye bağlı değişimini ifade eden regresyon eşitlikleri aşağıda verilmiştir (Eşitlik 4 ve Eşitlik 5).

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0203 * \text{Yükseklik (h)} + 15.247 \quad (R^2 = 0.98) \quad (4)$$

$$\delta^2\text{H} = -0.0786 * \text{Yükseklik(h)} + 22.938 \quad (R^2 = 0.79) \quad (5)$$



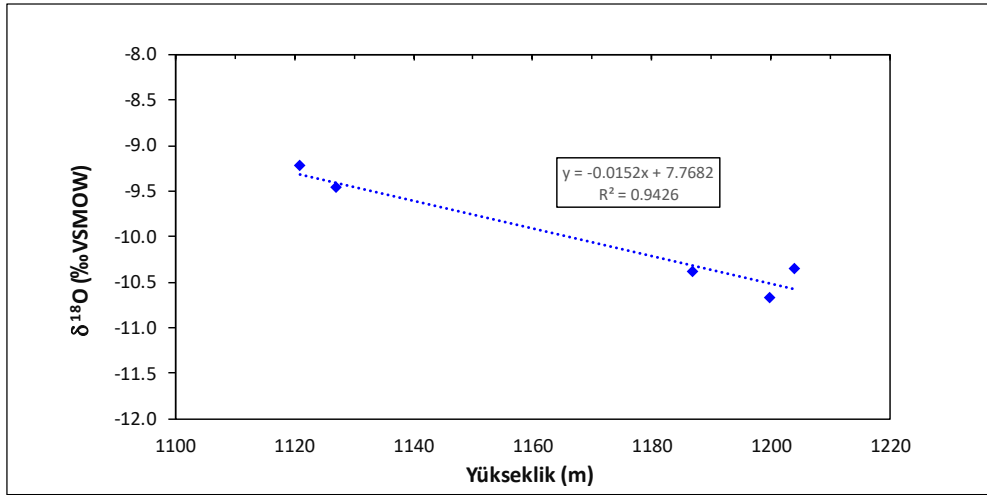
Şekil 11. Havzanın kuzeybatısı için yükseklik-Oksijen-18 ilişkisi (Relationship between elevation-Oxygen-18 for the northwestern part of the basin)

Bu örneklerin Oksijen-18 içerikleri ile yükseltiyeye bağlı değişimleri incelendiğinde her 100 m' lik kot artışına bağlı olarak $\delta^{18}\text{O}$ içeriğindeki azalmanın ‰ 2.03 olduğu; ^2H içeriğindeki azalmanın ise ‰ 7.86 oranında olduğu hesaplanmıştır (Şekil 11). Bu kaynakların ortalama beslenme alanı yükselteleri ise 1222 m ile 1327 m arasında değişmektedir.

Havzanın güney-güneybatı kesimindeki kaynak çıkışlarını temsil eden 4. grup ise E9, E10, E11, E13 ve M3 su noktalarıdır. Bu hattı temsil eden su kaynakları için regresyon eşitlikleri türetilmiştir (Eşitlik 6 ve Eşitlik 7).

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0152 * \text{Yükseklik(h)} + 7.7682 \quad (R^2=0.94) \quad (6)$$

$$\delta^2\text{H} = -0.0722 * \text{Yükseklik(h)} + 11.417 \quad (R^2=0.81) \quad (7)$$



Şekil 12. Havzanın güneyi için yükseklik-Oksijen-18 ilişkisi (Relationship between elevation-Oxygen-18 for the southern part of the basin)

Bu örneklerin Oksijen-18 içerikleri ile yükseltiye bağlı değişimleri incelendiğinde ise her 100 m' lik kot artışına bağlı olarak ^{18}O içeriğindeki azalmanın ‰ 1.5 olduğu; ^2H içeriğindeki azalmanın ise ‰ 7.22 oranında olduğu hesaplanmıştır (Şekil 12). Bu kaynaklar için ortalama beslenme alanı yükseltisi; havzanın güneybatısını sınırlayan Bozdağlar'ın 1119 m ile 1208 m arasında değişen yükseklikleri olarak belirlenmiştir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada 1447 km²'lik Seyfe Gölü sulak alanı havzasındaki su kaynaklarının duraylı izotop içerikleri incelenmiştir. Havza ölçeğinde yüzey drenaj alanı içerisinde yer alan su noktalarından 2019 Eylül ve 2019 Aralık dönemlerinde izotop örneklemeleri gerçekleştirilmiştir. Örneklenen su noktalarının havza içerisindeki izotop içeriklerinin oransal değişimi, beslenme alanı yükseltilerinin hesaplanması, farklı kökenli suların ayırtlanması ve hidrojeolojik süreçlerin açıklanmasına yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

Havzada yüzeyleyen jeolojik birimler suyu taşıma ve iletme özellikleri göre geçirimli, yarıgeçirimli ve geçirimsiz birimler olarak sınıflandırılmıştır. İkincil gözeneklilik kazanmış Paleozoyik yaşlı mermer birimlerin kırıklı ve çatlaklı seviyeleri akifer özelliği göstermektedir.

Duraylı izotop içeriklerine göre su örnekleri 3 farklı şekilde kümelenmişlerdir. Havzanın batısındaki Paleozoyik yaşlı şistler, kristalen kireçtaşları ve mermer birimleri temsil eden su noktaları ile kar örneklerinin çoğunluğu her iki dönemde de döteryum fazlası +15 olan doğru üzerinde dizilmişlerdir. Diğer iki meteorik doğruya göre döteryum fazlası daha yüksek olan +15 doğrusu havzanın batısını temsil etmektedir. Dolayısıyla Seyfe Gölü havzasının batı kısmını temsil eden meteorik su doğrusunun +15 döteryum fazlasıyla $\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 15$ şeklinde olabileceği düşünülmektedir. Bu durum havza batısının denizel kökenli yağışların etkisinde olduğunu, buharlaşmanın hızlı ve ortamdaki nem düzeyinin düşük olduğunu göstermektedir.

Havzanın batı-kuzeybatısındaki Paleozoyik metamorfik birimleri temsil eden kaynakların $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri, diğer su noktalarına göre daha negatif oldukları için beslenimlerinin daha yüksek kotlardan gerçekleştiği hesaplanmıştır.

Kış yağışlarını temsil eden kar örneklemeleri, döteryum fazlası +15 olan yerel meteorik su doğrusu üzerinde, bir kısmı ise Küresel Meteorik Su Doğrusu üzerinde yer almaktadırlar. Kar yağışlarını temsil eden örneklerin Oksijen-18 ve Döteryum içeriklerinin daha negatif olduğu, diğer su noktalarına göre meteorik eğrilerin alt kısımlarında kış yağışlarını temsil eden bölgede yer aldıkları görülmektedir.

DK ve Y1 su noktaları ise açık yüzeyden sürekli buharlaşma etkisi altında kalan, eğimi 5 olan buharlaşma doğrusu üzerinde kalan su noktalarıdır. DK ve Y1 örneklerinin üzerinde buldukları buharlaşma doğrusunun eğimi ile havza yakınlarında ölçülen bağıl nem içeriği uyumlu bir ilişki göstermektedir.

Havzadaki bir grup kaynaklar ise döteryum fazlası +5 olan meteorik doğru üzerinde yer almaktadır. Düşük döteryum fazlası değerlerin havzanın gerek kurak iklim koşullarında olması; gerekse düşen yağışın tekrar tekrar

buharlaşmaya uğraması ve ağır izotoplarca zenginleşmesi şeklinde olabileceği düşünülmektedir. Yine havzadaki bu kaynakların döteryum fazlası değerlerinin düşük olması karasal ortamda gerçekleşen yağışı oluşturan buharlaşmanın yavaş, ortamdaki nem içeriğinin ise yüksek olduğuna işaret etmektedir.

Çalışma alanındaki duraylı izotop içerikleri incelendiğinde; havzanın doğusundan batı-kuzeybatısına doğru akım yolu boyunca yükseltinin artmasıyla birlikte su noktalarının Oksijen-18 ve Döteryum içeriklerinin negatifleştiği görülmektedir.

Yeraltı sularını temsil eden Yenidoğanlı bölgesindeki MT-1 ve MT-3 kuyuları ile Seyfe köyü yakınlarındaki E15 kuyusu benzer (meteorik) kökenli yağışlardan beslenen, buharlaşma etkisi görülmeyen ve Küresel Meteorik Su Doğrusu üzerinde kümelenen su noktalarıdır.

Havzanın kuzeybatısından, güneydoğusuna doğru gidildikçe her 100 metrede yükseltiye bağlı Oksijen-18 içeriğinin değiştiği belirlenmiştir. Havzanın kuzeybatısında her 100 metre için bu değer ‰ 2.03, batısında ‰ 0.08; havza ortalarında 1.03; güneybatısında ise ‰ 1.5 olarak hesaplanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmada Seyfe Gölü havzasındaki hidrojeolojik süreçlerin anlaşılması ve hidrodinamik yapının kavramsallaştırılmasına yardımcı olacak duraylı izotop tekniklerinden yararlanılmıştır. Bu kapsamda kavramsallaştırma çalışmaları için hidrostratigrafik birimlerin beslenme alanları ile su noktalarının yükseltiye bağlı olarak duraylı izotop içeriklerindeki değişimlerin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu amaçla havzadaki su noktalarının farklı mevsimsel dönemlerde izotop içeriklerindeki değişimlerinin belirlenebilmesi için yağış, kaynak, kanal ve kuyulardan örneklemelere devam edilmesi gerekmektedir. Ayrıca havza için bu çalışma kapsamında gerçekleştirilemeyen trityum analizlerinin ileriki dönemlerde gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Dolayısıyla çevresel (duraylı ve duraysız) izotop içeriklerinin birlikte değerlendirilmesi ile çalışmanın geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Çalışma yazarın doktora tez çalışmasının bir bölümünü oluşturmaktadır. Yazar Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Uygulama ve Araştırma Merkezi Duraylı İzotop Laboratuvarında gerçekleştirilen duraylı izotop analizleri ve makale yazımı sırasındaki öneri ve görüşleri için Dr. Öğr. Üyesi Türker Kurttaş'a teşekkür eder. Ayrıca makale metninin son halini almasındaki katkılarından dolayı editör ve hakemlere teşekkür eder.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- Bershaw, J., 2018. Controls on Deuterium Excess across Asia. *Geosciences*, 8, (7), 257.
- Clark, I., Fritz, P., 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Second Edition, Lewis Publisher.
- Craig, H., 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters. *Science*, 133, 1702-1703.
- Çelik, M., Ünsal, N., Tüfenkçi, O., Bolat, S., 2008. Assessment of Water Quality and Pollution of the Lake Seyfe basin, Kırşehir, Turkey. *Environmental Geology*, (55), 559-569.
- Çiftçi, E., 2013. Seyfe Gölü Havzası'nda (Kırşehir) Doğal Ortam-Yeraltısuyu ilişkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Dansgaard, W., 1964. Stable Isotopes in Precipitation. *Tellus*, 16, 436-469.
- Delattre, H., Vallet-Coulomb, C., and Sonzogni, C., 2015. Deuterium Excess in the Atmospheric Water Vapour of a Mediterranean Coastal Wetland: Regional vs. Local Signatures. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 10167-10181.
- DSİ., 1975. Kırşehir Seyfe Ovası Planlama Kademesi Jeofizik Rezistivite Etüd Raporu. Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- DSİ., 1979. Kırşehir Seyfe Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu. Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- DSİ., 2004. Seyfe Ovası Hidrojeolojik Revize Etüd Raporu. Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Erguvanlı, K., 1957. Kırşehir Kuzeyinde Seyfe Ovasının Hidrojeolojik Etüd Raporu. Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Froehlich, K., Gibson, J., Aggarwal, P., 2002. Deuterium Excess in Precipitation and its Climatological Significance. *Journal of Geophysical Research, Atmospheres*, 23p.
- Gat, J. R., Gonfiantini, R., 1981. *Stable Isotope Hydrology. Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle*. IAEA, Technical Report Series No. 210, 337pp. Alba, E., Dorronsoro, B., 2005. The Exploration/Exploitation Tradeoff in Dynamic Cellular Genetic Algorithms. *IEEE, Transactions on Evolutionary Computation*, (9), 26-142.
- Gat, J.R., Bowser, C.J., Kendall, C., 1994. The Contribution of Evaporation from the Great Lakes to the Continental Atmosphere: Estimate Based on Stable Isotope Data. *Geophysical Research Letter*, 21, (7), 557-560.

- Gat J.R., 2005. Some Classical Concepts of Isotope Hydrology. In: Aggarwal P.K., Gat J.R., Froehlich K.F. (eds) *Isotopes in the Water Cycle*. Springer, Dordrecht.
- Kıymaz, S., Asar, M., Güneş, V., 2011. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile Seyfe Gölü'nün Kuraklık Dönemlerinin Belirlenmesi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 91-102.
- Kıymaz, S., Karadavut, U., 2014. Seyfe Gölü Havzasında Yer Alan Kuyuların Sularının Sulama Suyu Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 30, Sayı 1, 21-31.
- MTA., 1991. 1/100000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi No: 34 Kırşehir G-18 Paftası ve açıklaması, Ankara, Türkiye, 12s.
- MTA., 1992. 1/100000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi No:34 Yozgat G-19 Paftası ve açıklaması, Ankara, Türkiye, 16s.
- MTA., 2009. Kırşehir-Mucur-Seyfe Gölü Havzası Maden Jeolojisi Raporu. Ankara.
- Önhon, E., 1969. Seyfe Ovası Kristalize Kalker Sahasının Karst Etüdü ve Seyfe Kaynağının Geliştirilmesi Raporu. Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Peng, H., B. Mayer., S. Harris., H. Krouse., 2007. The Influence of Below-Cloud Secondary Effects on the Stable Isotope Composition of Hydrogen and Oxygen in Precipitation at Calgary, Alberta, Canada. *Tellus*, 59B, 698-704.
- Salamalikis, V., A. A. Argiriou., E. Dotsika., 2016. Isotopic Modeling of the Sub-Cloud Evaporation Effect in Precipitation. *Science of the Total Environment*, 544, 1059-1072.
- Sayhan, H., 2000. Seyfe Havzasının Jeomorfolojisi (Kırşehir). *Gazi Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, Sayı 1, 1-12.
- Sayhan, H., 2001. Seyfe Gölü Eski Seviyelerinin Kuvaterner Jeomorfolojisi Açısından Etüdü. *Gazi Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, Cilt 2, Sayı 2, 55-73.
- Seymen, İ., 1982. Kaman dolayında Kırşehir masifinin jeolojisi. Doçentlik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Tüfenkçi, O.O., 2005. Seyfe Kaynağı ve Dolayının (Kırşehir) Hidrojeoloji incelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Ünsal, N., 1999. Seyfe Ovası Kaynaklarının Kimyasal ve İzotopik Bileşenleri ve Kökeni. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 295-308.
- Yılmaz, H.M., Reis, S., 2008. Seyfe Gölü'nün Zamansal Değişiminin Uzaktan Algılama Tekniği ile İzlenmesi. *Hydrological Processes*, 448-4454.
- Yiğitbaşıoğlu, H., 1993. Seyfe Gölü ve Çevresinin Jeomorfolojisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.



KIRSAL YOLLARIN ÜSTYAPI PERFORMANS ANALİZİNDE COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİ: ISPARTA ÖRNEĞİ

Serdal TERZİ*, Melak Hussein AHMED

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Sathi Kaplama,
Coğrafi Bilgi Sistemi,
Üstyapı Yönetim Sistemi,
Düzensüzlük.*

Öz

Düzensüzlük indeksi yolların performansı hakkında önemli bilgi veren bir parametredir. Düzensüzlüğün önceden tahmin edilebilmesi, yolların bakım ve onarım planlamaları için büyük bir kolaylık sağlayabilir. Bu çalışma kapsamında sathi kaplamalı yolların gelecek yıllarda sahip olması beklenen uluslararası düzensüzlük indeksi (IRI) değeri tahmin edilmiştir. Bu amaçla, kırsal yollar için trafik hacmi ve iklim verileri ile literatürde geliştirilmiş olan lineer denklemler amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Ek olarak tahmin edilen IRI değerleri ve ilgili yol kesimi hakkındaki trafik hacim ve bölge iklim verileri Coğrafi Bilgi Sistemlerine işlenmiş ve optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen 5 yıllık örnek bir uygulama ile coğrafi bilgi sistemlerinin, kırsal yollarda üstyapı yönetim sistemi için kullanılabilirliği gösterilmiştir.

USABILITY OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS BY PAVEMENT PERFORMANCE ANALYSIS ON RURAL ROADS: CASE STUDY OF ISPARTA

Keywords

*Chip Seal,
Geographic Information
System,
Pavement Management
System,
Roughness.*

Abstract

The roughness index is a parameter that gives important information about the performance of the roads. Predicting the roughness can be a great convenience for road maintenance and rehabilitations planning. Within the scope of this study, the international roughness index (IRI) value of the chip seal paved roads for the coming years has been estimated. For this purpose, linear equations developed in the literature based on traffic loads and climate data, for rural roads were used as an objective function. In addition, the traffic volume and region climate data on the estimated IRI values and related road sections were processed in the Geographic Information Systems and an optimization study was carried out. The usability of the geographic information systems for the pavement management system in rural roads has been demonstrated with a 5-year sample application.

Alıntı / Cite

Terzi, S., Ahmed, M. H., (2020). Kırsal Yolların Üstyapı Performans Analizinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanılabilirliği: Isparta Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 904-911.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Terzi, 0000-0002-4776-824X
M.H. Ahmed, 0000-0002-9131-4608

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	30.05.2019
Revizyon Tarihi / Revision Date	15.06.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	24.06.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Giriş (Introduction)

Üstyapı, değişik bileşenleri bir araya getirilerek oluşturulmaktadır. Üstyapı bulunduğu ülke, il, ilçe ve köy bağlantılarını oluşturarak trafik yükünü taşımak üzere stabil hale getirilen taban zemini üzerine çeşitli malzemelerin belirli oranlarda tabakalı olarak yerleştirilen yol yapısıdır. Yol üstyapının proje süresince emniyetli olarak ve her türlü iklim koşullarının etkisi altında servis sağlayabilmesi gerekmektedir. Ayrıca üstyapı, projelendirdiği alandaki araç geçiş sayısı ile ilişkili olarak planlanmaktadır. Hizmet süresi boyunca geçiş yapması planlanan araç sayısından daha fazla geçmesi hesaplanan servis ömrünü kısaltmaktadır.

* İlgili yazar / Corresponding author: serdalterzi@sdu.edu.tr, +90-246-211-1221

Yol üstyapısını kullanacak trafik yüklerine bağlı olarak farklı tipte üstyapılar tasarlanabilir. Üstyapı, kaplama tabakasında kullanılan bağlayıcı cinsine göre iki sınıfa ayrılmaktadır. Esnek ve rijit kaplama olarak tanımlanmaktadır. Esnek yol üstyapısı olarak adlandırılanlarda bağlayıcı olarak bitüm kullanılmaktadır. Esnek üstyapılar da yoldaki trafik yoğunluğuna göre Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) asfalt kaplama ve sathi kaplama olarak yapılmaktadır.

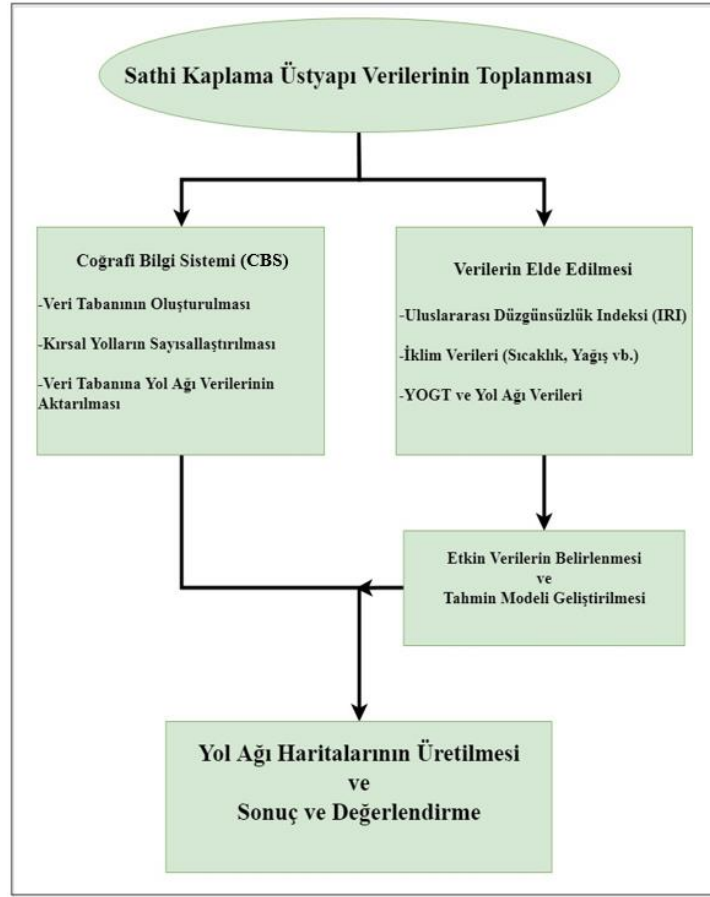
Esnek üstyapı türlerinden olan sathi kaplamalar genellikle kırsal yollarda kullanılmaktadır. Bölgelerin demografik yapısındaki dönemsel değişimler trafik yükünü artırmaktadır. Ayrıca kırsal yol ağı içerisinde genellikle kullanılan sathi kaplama, üstyapıda oluşan bakım ve rehabilitasyon ihtiyacının tüm ağa aynı anda uygulanamaması ve kaynak kıtlığı sebebiyle bakımı güçleşmektedir. Sathi kaplama yol ağı kullanıcılarına maksimum faydayı sağlayacak olan yöntemin seçimi ve mevcut kaynakların optimum dağıtımını sağlamak için optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler; eşdeğer düzenli yıllık maliyet yöntemi, bugünkü değer yöntemi, dönüş oranı yöntemi, fayda maliyet oranı yöntemi ve maliyet etkinlik yöntemi olarak gruplandırılabilir.

Yıllık ortalama günlük trafik (YOGT), temel zeminin stabilitesi, bitümlü bağlayıcı özelliği, püskürtülen bitümlü bağlayıcının oranı, malzeme seçimi, astar, agrega miktarları, yolun geometrik standardı, doğru yapım yöntemi, iklim koşulları, zemin sıcaklığı, zeminin nem miktarı, drenaj gibi etkenler sathi kaplamanın ömrünü ciddi ölçüde etkilemektedir. Bunun sonucunda, birçok köy yolunda kullanılan sathi kaplama yolların dayanımı etkilenerek kısa sürede bakım ile takviye tabakaların yapılmasını gerektirmektedir. Ortaya çıkan bu gereklilik neticesinde, üstyapıda meydana gelen üstyapı bozulmasının önceden tahmini ve planlı şekilde bakım onarımı ekonomik olarak önemli bir katkıda bulunacaktır.

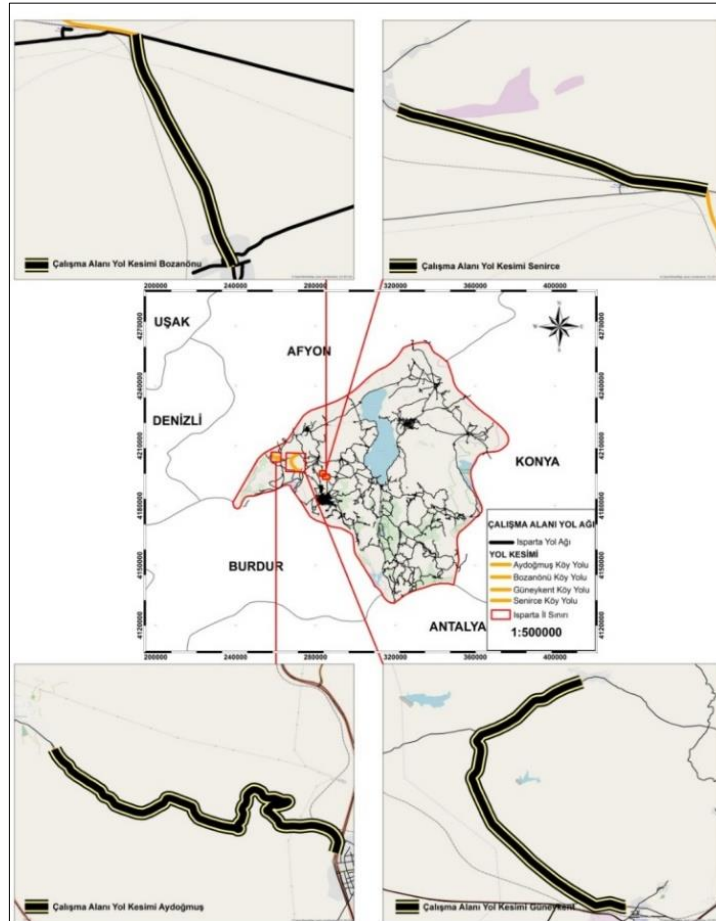
Bu çalışmada, performans ölçütü olan uluslararası düzgünsüzlük indeksi (IRI) değeri tahmin edilmiştir. Tahmin edilen IRI değerleri ile trafik hacmi ve bölge iklim verileri coğrafi bilgi sistemleri (CBS) veri tabanına aktarılmıştır. CBS sorgulamaları ile en uygun bakım onarım planının elde edilmesi çalışmanın ana amacıdır. CBS olarak ArcGIS 10.2 coğrafi bilgi sistemi programı kullanılmıştır. Literatürde konumsal analiz sebebiyle CBS kullanan çeşitli çalışmalar (Şener vd., 2011; Gerçek ve Güven, 2017; Şener ve Şener, 2019) vardır. Bu çalışmalar da CBS kullanımının uygunluğunun göstergesidir. CBS kullanımına ek olarak Çelikli (2018) tarafından geliştirilen IRI tahmin modelleri kullanılmıştır. Tahmin edilen IRI değerleri ile CBS programı üzerindeki yol ağında sathi kaplama köy yollarının üstyapı yönetim uygulamalarının sorgulanması ve tematik haritalarının üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Üstyapı yönetimi, üstyapı bölümlerini önceden planlanmış bir şekilde sürdürerek yol ağının performansını iyileştirmek için kullanılan bir süreçtir. Çoğu durumda öncelikle karar vericinin kararına dayanan üstyapı yönetim sürecinin kalitesi, mevcut kaynakların ele alınmasının etkinliğini doğrudan etkileyebilmektedir (Sharaf, 1993). Literatürde üstyapı yönetim sisteminin kullanılabilirliğini gösteren birçok çalışma mevcuttur (Ay, 2001; Saha ve Ksaibati, 2016; Shrestha vd., 2018; Almuhannd vd., 2018; Wang vd., 2018). Çalışma kapsamında Isparta ilinden dört güzergah seçilmiş ve seçilen yollar için İl Özel İdare tarafından yolların envanter bilgileri toplanmıştır. Ayrıca bölgenin geçmişe dönük iklim verileri ile trafik hacim bilgileri ile IRI üzerindeki etkileri incelenmiştir. IRI, üstyapı performansının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. IRI, yol üstyapısında belirli bir kesim boyunca oluşan düzgünsüzlüğü ifade etmektedir. Genellikle bir kilometre boyunca ölçüm tekerleğinin düşey doğrultuda toplam hareketinin metre cinsinden gösterimidir. Karayolu bölümleri için bakım gereksinimlerini tespit etmek için ulaştırma kurumları tarafından uluslararası düzeyde kullanılan kritik bir göstergedir. IRI değerinin ölçüm kolaylığı, özellikle bir yol kesimi IRI değerinin sadece tek bir test çalışmasına dayanarak belirlenebilmesi ve ağ değerlendirmeleri için duyarlı olduğu çalışmalarda belirtilmektedir (Abdelaziz vd., 2018; Zhang ve Wang, 2018; Qian vd., 2018; Chong vd., 2018; Simpson vd., 2018; Jia vd., 2018). Çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm çalışmalara ait bir akış diyagramı Şekil 1'de sunulmuştur.

2. Analiz Yol Kesimleri (Analysis of Road Sections)

Bu çalışmada analiz edilen kırsal yol kesimleri Çelikli (2018) tarafından tez çalışması kapsamında kullanılan yollardır ve gelecek IRI tahminleri için Çelikli (2018) tarafından ortaya konulan IRI tahmin denklemleri kullanılmıştır. Bu yollar Isparta İli, Merkez, Gönen ve Keçiborlu İlçelerindeki köy yolları (Şekil 2) olup yolların envanter bilgileri, bölgeye ait kullanılan iklim verileri, yolu kullanan trafik miktarı ve son olarak yolun IRI ölçümleri bu başlık altında verilmiştir.



Şekil 1. Akış diyagramı (Flow Chart)



Şekil 2. Çalışma Alanı Yol Ağı Haritası (Study Area Road Network Map)

2.1. Yol Envanter Bilgileri (Road Inventory Information)

İl Özel İdare kayıtlarından alınan bilgiye göre kırsal yollarda bağlayıcı malzeme olarak 160/220 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır. Ayrıca yolun iç ve dış kenarlarında ayrışma olmaması ve su yalıtımı amacıyla ~50 cm astar malzeme serilmiştir. Bu amaçla kullanılan bitümlü bağlayıcı ise FM2 B2'dir. Tüm yolların inşasında agrega olarak kireçtaşı kullanılmış olup maksimum elek açıklıkları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Yollarda kullanılan maksimum agrega boyutları (Maximum aggregate sizes used on roads)

Yolun Tanımı	Nominal maksimum – maksimum agrega boyutu (mm)
Bozanönünü	13-18
Senirce	18-25
Güneykent	13-18
Aydoğmuş	13-18

2.1.2. Bölgeye Ait İklim Verileri (Regional Climate Data)

Kırsal yolların bulunduğu bölgelerin iklim değerleri yıllık olarak Tablo 2.'de verilmiştir. İklim verileri 2015 – 2017 yılları arası olmak üzere 3 yıllık olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. İklim verileri yağış, sıcaklık, kar, nispi nem ve donma çözünme sayısı olarak incelenmiştir (Çelikli, 2018). Kar değerleri sadece merkezi olarak mevcuttur.

Tablo 2. Bölgelere ait iklim verileri (Climate data of the regions)

İklim	İlçe	Yıl		
		2015	2016	2017
Yağış (mm=kg/m ²)	Merkez	548	521,3	467,8
	Gönen	458,6	494	386,4
	Keçiborlu	555,1	501,2	487,5
Ort. Sıcaklık (°C)	Merkez	13,4	13,1	12,5
	Gönen	12,3	12,6	12,3
	Keçiborlu	13,1	13,6	13
Kar (cm)	Merkez	64	53	236
	Gönen	-	-	-
	Keçiborlu	-	-	-
Nispi Nem (%)	Merkez	62,7	59,2	62
	Gönen	64,8	61,2	65,7
	Keçiborlu	54,4	55,2	61,5
Donma Çözünme Sayısı	Merkez	145	147	146
	Gönen	183	165	172
	Keçiborlu	101	103	92

2.1.3. Kırsal Yolları Kullanan YOGT Değerleri ve IRI Verileri (AADT Values and IRI Data Using Rural Roads)

Üstyapı üzerinde meydana gelen trafik yükünün belirlenmesi güzergah üzerinde alınması gereken kararlarda kurumlara yardımcı olan en önemli parametredir. Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) sanal bir trafiktir. Yaz mevsiminde trafik daha fazla kış mevsiminde daha azdır. Yılın aylarına göre trafik değişim göstermektedir. Aynı şekilde haftanın günlerine göre de trafikler değişim göstermektedir. Yıllık Ortalama Günlük Trafik, bütün bu değişimler dikkate alınarak hesaplanan ortalama tahmini bir değerdir (KGM, 2018). Dikkate alınan yol kesimleri için YOGT değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Analiz yol kesimlerinin yıllara bağlı YOGT değerleri (AADT values of analysis road sections depending on years)

Yıllar	YOGT (taşıt)		
	2015	2016	2017
Bozanönü	100	125	133
Senirce	22	28	31
Güneykent	141	174	222
Aydoğmuş	32	53	77

Literatürde belirtildiği üzere, çalışma alanındaki sathi kaplı köy yollarının YOGT ve IRI değerleri uygun şekilde yapılmış verilerden temin edilmiştir.

2.1.4. IRI Tahmin Modelleri (IRI Prediction Models)

Çelikli (2018) tarafından ortaya koyulan ve Isparta bölgesi kırsal yollarının IRI tahmininde kullanılabileceği savunulan fonksiyonlar Bozanönü Köy Yolu için Denklem 1 ile, Senirce Köy Yolu için Denklem 2 ile, Güneykent Köy Yolu için Denklem 3 ile ve Aydoğmuş Köy Yolu için Denklem 4 ile gösterilmiştir. Bu fonksiyonların kullanılması ile elde edilecek tahminlerin yüksek başarı göstermesi beklenmektedir.

$$IRI = \left[\begin{array}{l} 14,061 + (Kümülatif \text{ gün} * 4,720) - (Yağış * 0,025) - (Ort. Sıcaklık * 0,418) \\ - (Donma - Çözülme * 0,002) - (Kar * 0,027) - (NispiNem * 0,107) \\ - (Otomobil * 0,095) + (Kamyon * 0,260) + (Otobüs * 0,625) \end{array} \right] \quad (1)$$

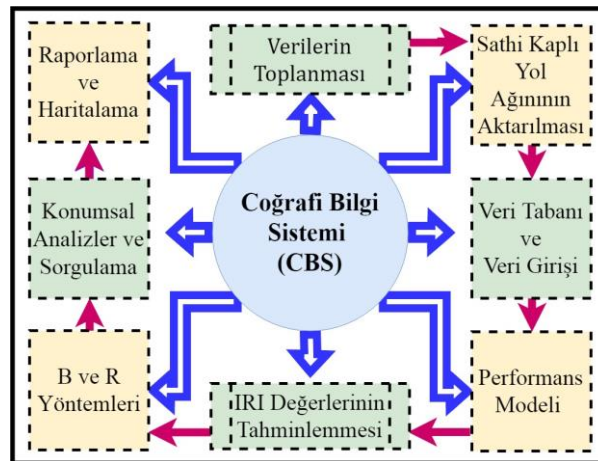
$$IRI = \left[\begin{array}{l} 7,561 + (Kümülatif \text{ gün} * 0,660) + (Yağış * 0,000) - (Ort. Sıcaklık * 0,005) \\ + (Donma - Çözülme * 0,005) - (Kar * 0,006) + (NispiNem * 0,002) \\ + (Otomobil * 0,003) + (Kamyon * 0,007) - (Otobüs * 0,625) \end{array} \right] \quad (2)$$

$$IRI = \left[\begin{array}{l} 9,759 + (Kümülatif \text{ gün} * 3,149) + (Yağış * 0,007) + (Ort. Sıcaklık * 0,017) \\ + (Donma - Çözülme * 0,037) - (Kar * 0,023) - (NispiNem * 0,022) \\ - (Otomobil * 0,001) + (Kamyon * 0,027) - (Otobüs * 0,371) \end{array} \right] \quad (3)$$

$$IRI = \left[\begin{array}{l} 11,957 + (Kümülatif \text{ gün} * 2,803) - (Yağış * 0,014) - (Ort. Sıcaklık * 0,091) \\ + (Donma - Çözülme * 0,006) - (Kar * 0,011) - (NispiNem * 0,080) \\ + (Otomobil * 0,014) - (Kamyon * 0,181) - (Otobüs * 1,248) \end{array} \right] \quad (4)$$

3. Coğrafi Bilgi Sistemi (Geographic Information System)

Coğrafi bilgi sistemleri veri tabanı üzerinde verilerin saklanması ve güncellenmesi hızlanmaktadır. Elde edilen verileri, veri tabanlarına girerek konumsal bilgiler üretmek mümkün olmaktadır (Terzi, 2004; Morova, 2013). Ayrıca ülkemizde YOGT değeri düşük yollar için kullanılan sathi kaplı yollara ait verilerinde derlenip birleştirilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada sathi kaplı yollara ait verilerin tek bir veri tabanında birleştirilerek, gelecek yıllara ait bozulmalarının tahmin edilmesi ile bakım ve rehabilitasyon durumlarının en etkin şekilde dağılımı yapılması amaçlanmıştır. Şekil 3'te CBS ortamında yapılan yöntem akış şeması verilmiştir.



Şekil 3. Yöntem Akış Şeması (Method Flow Chart)

Coğrafi bilgi sistemleri ortamında (ArcGIS 10.2) WGS 84 ve UTM 36N zonunda veriler konumlanmıştır. Elde edilen veriler veri tabanına belirtilen coğrafi koordinat sistemi şeklinde depolanmıştır. Veri tabanı üzerindeki sathi kaplı yollara ait verilerden performans tahmin denklemi ile sathi kaplı yol ağında meydana gelecek IRI değerleri tahmin edilmiştir. Elde edilen IRI değerlerine göre uygulanacak B ve R yöntemleri belirlenmiştir. Kısıtlı bütçe altında sathi kaplı yol ağının gelecekteki bozulmalar ve önlemler noktasında çıktılar elde edilmiştir. Ayrıca çeşitli verilerin tek bir veri tabanında toplanmıştır.

3.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Üstyapı Yönetiminin Belirlenmesi (Determination of Pavement Management Using Geographical Information Systems)

Bu çalışmada üstyapı onarım programındaki bu belirsizlikleri dikkate almak amacıyla, sathi kaplamalı yollardan toplanan veriler ile performans tahminleri gerçekleştirilmiştir. Bu elde edilen sonuçlar ArcGIS 10.2 programında Isparta yol ağı verisine aktarılacak üzere düzenlenmiştir.

Sistemin bütünlüğünü sağlayan en önemli parça veri tabanıdır (ESRI, 2018). Veri tabanı ortak olup, herhangi bir konumdan veri değişikliği ya da eklemesi gerçekleştiğinde gerçek zamanlı olarak görüntülenebilmektedir ve işlenebilmektedir (Terzi vd., 2011; Gökova, 2012). Bu bize zamandan tasarruf sağlayarak amaçladığımız işlemleri kısa sürede gerçekleştirmemizi sağlamaktadır. Çalışma ile Isparta köy sathi yollarının veri tabanı oluşturularak, geliştirilen performans modeli ile elde edilen değerler ve arazi deneyleri ile elde edilen değerler veri tabanına aktarılması için toplanmıştır.

4. Araştırma Bulguları ve Değerlendirilmesi (Research Findings and Evaluation)

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur. Kırsal yolların yapısal durumlarını belirlemek ve fonksiyonel performansını belirlemek için de kırsal yolların üzerinde etkili olan iklim ve YOGT değerleri kullanılarak performans tahmin modelleri gerçekleştirilmiştir. Verilen bütçe kısıtları altında, performans, YOGT ve enflasyon oranı kullanılarak, toplam faydayı maksimize eden bir optimizasyon çalışması yapılarak, onarım yöntemi ataması yapılmıştır. Onarım yöntemi ve maliyetleri veri tabanına yazılarak veri tabanı güncellenmiştir. Kırsal yolların coğrafi bilgi sistemi ile bakım ve rehabilitasyonu için geleceğe yönelik performans tahminleri ve sonuç haritaları üretilmiştir.

3.2.2 Veri Tabanı ve Veriler (Database and Data)

CBS'nin özelliğinden dolayı, her bir nesne için zaten bir veri tabanı bulunmaktadır. Bu mevcut veri tabanı üzerine performans tahmini ve optimizasyon modelleri için gerekli olan bilgilerin girilmesi gerekmektedir. Veri tabanında yol tanımlama bilgileri (Yol Adı, Yolun Tanımı, Yolun Kodu, Kesim Numarası, Kesim Uzunluğu, Yol Tipi (Asfalt Veya Sathi), İnşaat veya Yapısal Onarım Tarihi), trafik yükleri (Otomobil YOGT değeri, Otobüs YOGT değeri, Kamyon YOGT değeri), malzeme bilgileri (Malzeme Durumu, Bağlayıcı Malzeme, Astar, Agregada Gradasyonu, Üstyapı Tabaka Kalınlıkları Toplamı, Yolun Genişliği, Yapışma Eksikliği, Sıkıştırma Eksikliği, Bitüm Fazlalığı, Agregada Dayanımı), bozulma bilgileri (Timsah Sırtı Çatlak Genişliği, Kenar Çatlağı Genişliği, Yansıma Çatlağı Genişliği, Blok Çatlağı Genişliği, Kayma Çatlağı Genişliği, Boyuna Çatlak Genişliği, Enine Çatlak Genişliği, Tekerlek İzi Derinliği, Ondülasyon Yüksekliği, Kabarma Yüksekliği, Çökme Derinliği, Oyuk Derinliği, Sökülme Yüzdesi, Kusma Yüzdesi, Cilalanma Yüzdesi, Yama Yüzdesi), düzgünlük verileri (mevut IRI, bir yıl sonra IRI, iki yıl sonra IRI, üç yıl sonra IRI, dört yıl sonra IRI, beş yıl sonra IRI, altı yıl sonra IRI), iklim verileri (Aylık ortalama nem miktarı, Aylık toplam yağış miktarı, Aylık maksimum yağış miktarı, Aylık ortalama sıcaklık değeri, Aylık minimum ortalama sıcaklık, Aylık maksimum ortalama sıcaklık, Aylık minimum sıcaklık, Aylık maksimum sıcaklık, Aylık maksimum ve minimum sıcaklık farkları ortalaması, Aylık minimum Maks. Sıcaklık değeri ile maksimum Min. Sıcaklık değerinin farkı, Aylık maksimum sıcaklık değeri ile minimum sıcaklık farklarının minimumu, Aylık maksimum Maks. Sıcaklık değeri ile minimum Min. Sıcaklık değerinin farkı, Aylık maksimum ve minimum sıcaklık farklarının maksimum değeri, Kümülatif Gün, Yağış, Ortalama Sıcaklık, Donma-Çözünme, Kar örtüsü, Nispi Nem) ve bakım onarım yöntem ve maliyetleri (Mevcut bakım maliyeti, bir yıl sonra oluşacak bakım maliyeti, iki yıl sonra oluşacak bakım maliyeti, üç yıl sonra oluşacak bakım maliyeti, dört yıl sonra oluşacak bakım maliyeti, beş yıl sonra oluşacak bakım maliyeti, altı yıl sonra oluşacak bakım maliyeti) kullanılmıştır. Veri tabanına bilgilerin girilmesinden sonraki adım sathi kaplama köy yolunun gelecekteki performans sorgulamasının yapılmasıdır.

3.2.3. CBS Kullanılarak Optimizasyon Çalışması (Optimization Study Using GIS)

CBS'nin vazgeçilmez bileşenlerinden olan gelecek durum sorgulamaları program yardımıyla kullanılmıştır. Performans modeli ile tahmin edilen gelecek yıllara ait IRI değerleri veri tabanına eklenmiştir. Bu amaçla, çalışma alanına ait sathi kaplama yol kesimlerinde meydana gelen bozulmalar sorgulama özelliği kullanılarak haritalanmıştır. Tablo 4'de 2017'den 2023 yılına kadar IRI değerlerinin sorgulanması gösterilmiştir.

Tablo 4. Sorgulama sonucu elde edilen IRI değerleri (IRI values obtained as a result of the query)

Yıl	IRI Değerleri			
	Aydoğmuş	Güneykent	Senirce	Bozanönü
2017	6,93	6,89	5,65	9,03
2018	11,43	12,43	10,43	15,58
2019	13,50	16,63	14,35	19,67
2020	13,85	19,47	21,61	21,28
2021	16,63	20,96	23,78	22,14
2022	21,83	21,10	25,09	25,47
2023	29,46	22,31	25,53	31,27

4. Sonuçlar (Results)

Bu çalışma ile, herhangi bir ülkenin karayolu ağının etkin bir şekilde bakımı ve onarımı, ekonomik büyümesi için zorunludur. Karayolunun bir bölümünün bakımı için kaynaklara ve gereksinimlere göre formüle edilen bir yönetim sistemi kullanılarak, minimum bakım maliyetlerine sahip tatmin edici bir üstyapı performansı sağlanması mümkündür.

Karayolu yönetim kararları düşünüldüğünde birçok etkenin dikkate alınmasına karşın, anahtar etken daima para miktarı olmaktadır. Çeşitli kısıtlar altında en fazla etkiyi sağlamak amacıyla sınırlı sermayenin harcanması için bazı kararlar verilmesi gerekir. Verilen bir kararın uygulanmasının maliyeti belirlenmeli ve bundan kaynaklanan faydalar tahmin edilmelidir. Fayda/maliyet oranı yöntemi, karayolu alanında, diğer yöntemler arasında belki de en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, bir seçeneğin faydasının bugünkü değerinin, maliyetinin bugünkü değerine oranıdır. CBS sorgulamaları ile, veri tabanından alınan veriler kullanılarak 5 yıllık bakım ve rehabilitasyon programlaması verilen bir bütçe sınırı içinde planlanabilmektedir.

Bu çalışmada geliştirilen modellerin bir Üstyapı Yönetim Sistemine uyarlanması ve bu modellerin çalışabilirliğini göstermek amacıyla bir coğrafi bilgi sistemleri yazılımı kullanılarak modellerin coğrafi konumlarına ait bir platformda birleştirilmesi sağlanmıştır. Uygulamanın çalışabilirliğini göstermek için ağ üzerindeki sathi kaplı yollara ait örnek modeller geliştirilerek kullanılabilirliği gösterilmiştir. Coğrafi bilgi sistemleri kullanımı her alanda yüksek ivmeli şekilde hızlanmakta ve gelişmektedir. Çalışmamızda CBS yazılımı ile Üstyapı Yönetim Sistemi için gerekli olan verilerin sisteme aktarılması, çözümlemesi ve sonuçların gösterimi için bir örnek uygulama yapılmıştır. Bahsedilen bu amaçların tamamına, örnek çalışmada ulaşılmıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Abdelaziz, N., Abd El-Hakim, R. T., El-Badawy, S. M., Afify, H. A., 2018. International Roughness Index prediction model for flexible pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 1-12-1029-8436.
- Almuhanna, R. R., Ewadh, H. A., & Alasadi, S. J., 2018. Using PAVER 6.5. 7 and GIS program for pavement maintenance management for selected roads in Kerbala city. *Case studies in construction materials*, 8, 323-332.
- Ay, S., 2001. Antalya Bölgesindeki Devlet Yollarının Üstyapı Performanslarının Analizi ve İyileştirme Çalışmaları, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Antalya.
- Çelikli, U., 2018. Kırsal yolların üstyapı performansının belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 220s, Isparta.
- Gerçek, D., Güven, İ. T. Kentlerde Yeşil Alanların Yeterlilik, Erişebilirlik ve Bütünsellik Açısından Değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(2), 393-397.
- Gökova, S., 2012. Coğrafi Bilgi Sistemi İle Gerçek Zamanlı Üstyapı Yönetim Sistemi Yazılımı Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 78s, Isparta.
- Jia, X., Huang, B., Zhu, D., Dong, Q., & Woods, M., 2018. Influence of Measurement Variability of International Roughness Index on Uncertainty of NetworkLevel Pavement Evaluation. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 144(2), 04018007.
- KGM, 2018. İstatistikler. Erişim Tarihi: 15.09.2018. <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Istatistikler/DevletveIlyolEnvanteri.aspx>
- Morova, N., 2013. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Gerçek Zamanlı Üstyapı Yönetim Sistemi Gerçekleştirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 361s, Isparta.
- Qian, J., Jin, C., Zhang, J., Ling, J., Sun, C. 2018. International Roughness Index, Prediction Model for Thin Hot Mix Asphalt Overlay Treatment of Flexible Pavements. *Transportation Research Record*, 2672(40), 7-13.

- Chong, D., Wang, Y., Dai, Z., Chen, X., Wang, D., Oeser, M., 2018. Multiobjective optimization of asphalt pavement design and maintenance decisions based on sustainability principles and mechanistic-empirical pavement analysis. *International Journal of Sustainable Transportation*, 12(6), 461-472.
- Saha, P. ve Ksaibati, K., 2016. A risk-based optimisation methodology for pavement management system of county roads. *International Journal of Pavement Engineering*, 17(10), 913-923.
- Şener, Ş., Şener, E., Nas, B. 2011. Landfill Site Selection by using GIS and Multicriteria Decision Analysis. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 1(3), 134-144.
- Şener, E., Şener, Ş. 2019. Meteorolojik kuraklığın coğrafi bilgi sistemleri tabanlı zamansal ve konumsal analizi: çorak gölü havzası (burdur-türkiye) örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(3), 596-607.
- Sharaf, E. A., 1993. Ranking versus simple optimization in setting pavement maintenance priorities: a case study from Egypt. *Transportation Research Record (1397)*. Transportation Research Board, pp 34-8, Washington DC. United State.
- Shrestha, S., Katicha, S. W., Flintsch, G. W., Thyagarajan, S., 2018. Application of Traffic Speed Deflectometer for Network-Level Pavement Management. *Transportation Research Record*. 2672(40), 348-359 p.
- Simpson, A. L., Bryce, J. M., Rada, G. R., Groeger, J. L., 2018. Time-Series Review of Highway Performance Monitoring System Data. *Transportation Research Record*, 2672(40), 1-6 p.
- Wang, W., Wang, S., Xiao, D., Qiu, S., Zhang, J., 2018. An Unsupervised Cluster Method for Pavement Grouping Based on Multidimensional Performance Data. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 144(2), 04018005.
- Zhang, W. ve Wang, M. L., 2018. International Roughness Index (IRI) measurement using Hilbert-Huang transform. In *Nondestructive Characterization and Monitoring of Advanced Materials, Aerospace, Civil Infrastructure, and Transportation XII (Vol. 10599, p. 105991R)*. International Society for Optics and Photonics.



A HOME APPLIANCE CONTROL SYSTEM FOR ENERGY MANAGEMENT

Hanife APAYDIN ÖZKAN*

Eskisehir Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Eskisehir, Turkey

Keywords

*Home Energy Management,
Home Appliance,
Electricity Cost,
Peak Demand,
Algorithm.*

Abstract

In this work, a Home Appliance Control System is proposed as a Home Energy Management System for preventing high peak demand and reducing electricity cost while keeping user comfort. The proposed Home Appliance Control System consists of a home equipped with smart appliances, grid, communication network and a Main Controller and it is based on appliance interference under certain conditions. Appliances are separated as controllable, semi-controllable and uncontrollable according to their effects on user comfort. Main Controller is not allowed to interfere with uncontrollable appliances, but with semi-controllable and controllable appliances as much as it is permitted. Appliance interference is done on real time in the order of appliance priority defined by the user due to expected power consumption and the grid limit. The corresponding control algorithm of Home Appliance Control System is also developed. Simulation results demonstrate the effectiveness of the proposed system on achieving the intended goals.

EV ENERJİ YÖNETİMİ İÇİN EV CİHAZLARININ KONTROLÜ

Anahtar Kelimeler

*Ev Enerji Yönetimi,
Ev Cihazları,
Elektrik Maliyeti,
Yüksek Talep,
Algoritma.*

Öz

Bu çalışmada kullanıcı konforunu korurken elektrik maliyetini düşürmeyi ve anlık yüksek güç talebini önlemeyi hedefleyen bir Ev Enerji Yönetim sistemi olarak, bir Ev Cihazları Kontrol sistemi önerilmiştir. Önerilen Ev Cihazları Kontrol sistemi akıllı cihazlar, şebeke, haberleşme ünitesi ve bir ana kontrolcüden oluşmakta; ve cihazlara belirli koşullar altında müdahale etme esasına dayanmaktadır. Cihazlar kullanıcı konforuna etkilerine göre kontrol edilebilir, yarı-kontrol edilebilir ve kontrol edilemez olarak üçe ayrılmaktadır. Ana kontrolcünün kontrol edilemeyen cihazlara müdahale etmesine izin verilmezken, yarı kontrol edilebilir ve kontrol edilebilir cihazlara izin verilen ölçüde müdahale etmesine izin verilmektedir. Cihazlara kullanıcı tarafından belirlenen öncelik sırası ve belirlenen şebeke limitleri dikkate alınarak gerçek zamanlı müdahale edilmektedir. Önerilen Ev Cihazları Kontrol sistemine uygun kontrol algoritması da geliştirilmiştir. Simülasyon sonuçları sistemin amaçlanan sonuçlara ulaşmadaki başarısını göstermektedir.

Alıntı / Cite

Apaydın Özkan, H., (2020). A Home Appliance Control System For Energy Management, Journal of Engineering Sciences and Design, 8(3), 912-920.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Apaydın Özkan, 0000-0003-2932-0166

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	03.03.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	14.06.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	22.06.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Introduction

Due to the economic development, increase in global population, and widespread use of technological devices, there has been rapid rise in energy demand recently. Therefore, efficient use of existing energy is a big challenge nowadays. The energy consumed in the houses constitutes a significant part of the total energy demand (Rahimi & Ipakchi, 2010). Hence, for appropriate management of home energy consumption, Home Energy Management Systems (HEMS) have been proposed, recently.

*Corresponding author: hapaydin1@eskisehir.edu.tr, +90-222-335-0580/6468

Beside the increase in total energy demand, high peak demand, which causes overload and costly malfunctions in the network-putting traders in trouble, emerges as a matter to be considered. The user side contribution to the solution of high peak demand is provided by HEMS, while energy trader side contribution is realized by applying different electricity pricing such as real-time pricing, critical peak pricing and time-of-use (TOU) pricing (Du & Lu, 2011). In this work, TOU pricing which charges higher rates at peak demand periods and lower rates at off-peak demand periods is considered. By this pricing policy, users are encouraged to use appliances at times when the price is cheaper. Besides, HEMSs consider efficient use of energy at homes for providing sustainability of environment, user comfort and lower electricity cost for user as well as lower breakdown and maintenance costs for energy traders.

There are several papers on HEMS with different aims in the literature. Through the numerous works aiming at reducing electricity cost, stochastic dynamic programming with future price uncertainty is proposed to schedule the power consumption in (Kim&Poor,2010), while a dynamic load priority method is proposed to change the load priority during a demand response event in (Fernandes at al. 2014). Authors of (Conejo at all, 2010) proposed a simple linear programming based appliance control algorithm, while appliance scheduling is considered by using linear approaches in (Schweppe at al., 1989; Daryanian & Bohn, 1989).

In some other studies on HEMS, avoiding high peak demand as well as reducing electricity cost is considered: An automation system (Chauhan & Chauhan, 2019) is proposed to switch ON/OFF the appliances according to requirement as well as according to price. In (Mohsenian-Rad at al. (2010)), authors consider not only the energy cost minimization problem but also the problem of minimizing the peak-average ratio in the total load. They use a game theoretic approach to schedule energy consumption. A collaborative scheduling with genetic algorithms is proposed to reduce the electricity charges of a smart building by by reducing the electricity usage at peak time in (Lee & Bahn (2013)) while in (O'Neill at al. (2010)) Q-learning approach is presented to learn a residence's behaviour and automatically make optimal energy scheduling and allocation decisions. To reduce the peak demand, a consensual negotiation-based decision model is presented in (Bui at al. (2018)) using appliances with IoT concept and appliance prioritization approach are used in (Pipattanasomporn at al., 2012). The performance of an in-home energy management application has been evaluated in (Kantarci & Mouftah, 2011). On the other hand, a small number of works on HEMS consider user comfort as well as reducing electricity cost and avoiding high peak demand (Apaydin-Ozkan, 2016; Izmitligil & Apaydin-Ozkan, 2018). Although user comfort was also taken into consideration besides reducing the electricity cost and avoiding the high peak demand in these works, allowing comprehensive interference with some appliances and ignoring user preferences kept the user comfort consideration at a limited level.

In this work, a Home Appliance Control System (HACS) is proposed as a HEM for preventing high peak demand and keeping user comfort while reducing the electricity cost. The proposed HACS consists of a home equipped with smart appliances, grid, communication network and a Main Controller (MC) and it is based on appliance interference under certain conditions. Appliances are separated as controllable, semi-controllable and uncontrollable according to their effects on user comfort. MC is not allowed to interfere with uncontrollable appliances, but with semi-controllable and controllable appliances as much as it is permitted. Appliance interference is done on real time due to expected power consumption and the grid limit in the order of appliance priority defined by the user according to his preferences. The corresponding control algorithm of HACS is also developed and implemented.

In this study, unlike most studies in the literature, simultaneous consideration of keeping user comfort, avoiding high peak demand and reducing the electricity cost is provided. Besides, real power consumption profiles of appliances are used instead of their average powers assuring to detect even short-term high peak demands. Simulation results demonstrate the effectiveness of HACS on achieving the intended goals.

2. Home Appliance Control System

Home Appliance Control System (HACS) intends to reduce electricity cost and prevent high peak demand by keeping user comfort. In HACS, the home consists of smart appliances (e.g., air conditioner, washing machine, dishwasher, refrigerator, TV and lamps), grid, communication unit and a Main Controller (MC). The schematic diagram of HACS is given in Figure 1.

MC is the brain of the HACS, which communicates and controls appliances according to the developed control algorithm via communication units. In the system, one execution period (e.g., one day, 24 h) is discretized into a prescribed number T of uniform time slots, i.e., $T = t \in \{1, 2, \dots, T\}$, so that the total number of time slots in a day is $T = 24/\Delta_t$.

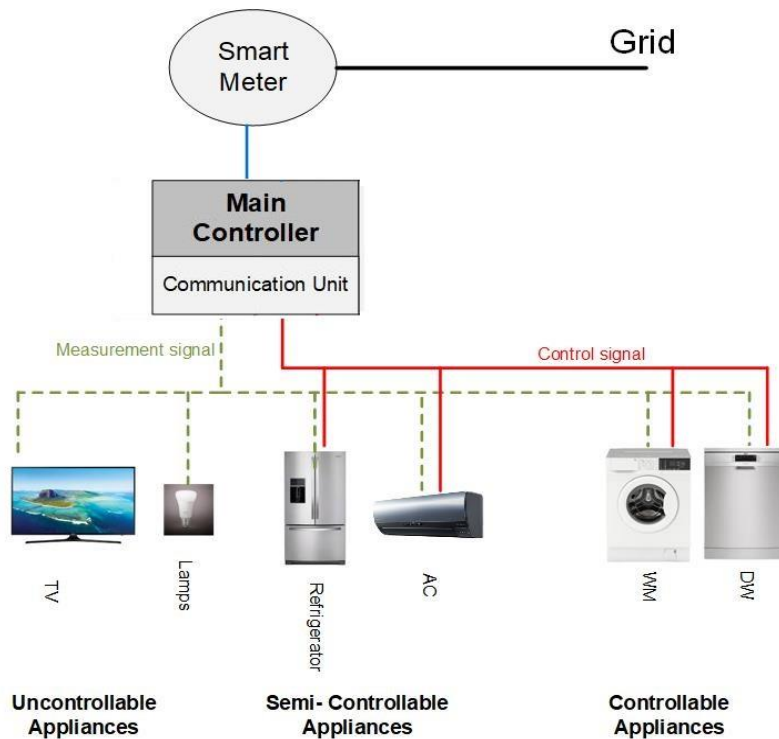


Figure 1: The schematic diagram of HACS

2.1 Home Appliance Control Algorithm

In HACS, appliances are separated as controllable, semi-controllable and uncontrollable. The set of these appliances is represented by L , i.e., $L = L_{UC} \cup L_{SC} \cup L_C$, where L_{UC} is the set of uncontrollable appliances, L_{SC} is the set of semi-controllable appliances while L_C is the set of controllable appliances. Status of appliances consists of working modes; such as, on-standby-off and different program modes; such as, normal, economic etc.

Appliances whose status is directly depends on user preferences, i.e., TV and lamps, are called as uncontrollable appliances. In order not to deteriorate user comfort, MC cannot interfere with the status (working modes and program modes) uncontrollable appliances. Power consumption profiles of uncontrollable appliances is illustrated via the real power consumption profile of a TV in Figure 2.

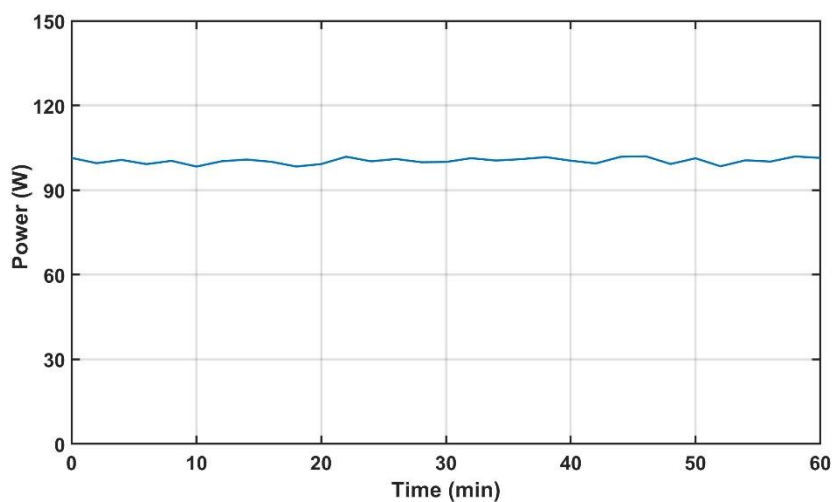


Figure 2: Power consumption profile of a TV

Appliances, whose working modes directly depends on user preferences, (i.e., air conditioner, refrigerator and water heater etc.) are called as semi-controllable appliances. In order not to deteriorate user comfort MC cannot interfere with working modes of semi-controllable appliances but can interfere with their program modes by changing their current program mode to the economic one. Power consumption profiles of semi-controllable

appliances is illustrated via real power consumption profile of normal and economic program modes of a refrigerator in Figure 3.

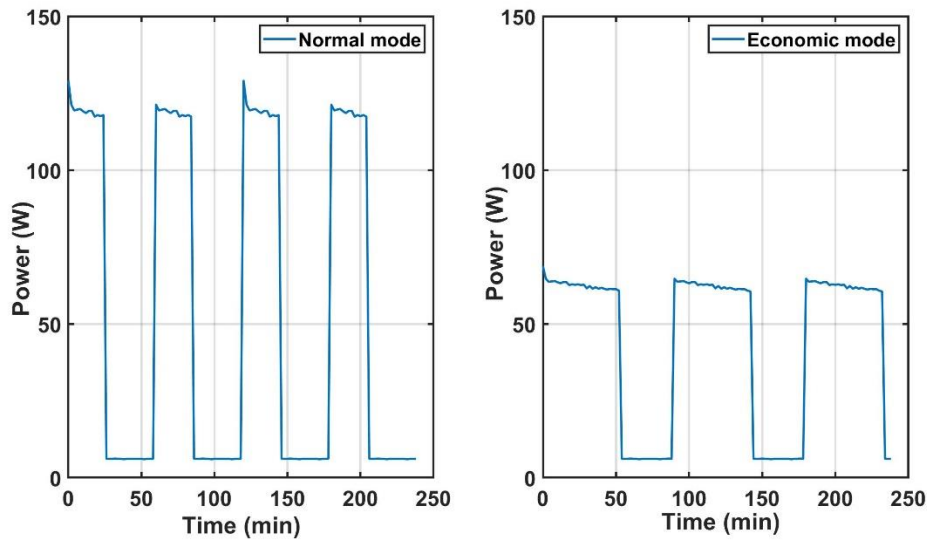


Figure 3: Power consumption profile of a refrigerator (Normal and Economic mode)

Appliances whose program modes directly depends on user preferences (e.g., washing machine, dishwasher) are called as controllable appliances. These appliances have different program modes (i.e., ‘regular’, ‘long’, ‘express’, and ‘special’) according to the amount, dirtiness and type of the stuff in themselves. Power consumption profiles of controllable appliances is illustrated via real power of a dishwasher in Figure 4.

When user wants to operate a controllable appliance $a \in L_c$ in a day, he defines an operation time interval $[t_s^a \ t_f^a]$ where t_s^a specifies earliest time of starting and t_f^a specifies the latest finishing time of the operation of a . In order not to deteriorate user comfort MC cannot interfere with the program modes of controllable appliances, but can interfere with their working modes by postponing the starting time under the condition that appliance operation terminates before the latest finishing time. That is, if the present time $t \in T=$ is in the operation time interval of $a \in L_c$, thus $t \in [t_s^a \ t_f^a]$, MC can interfere if and only if $t - t_f^a \geq \Delta^a$, where Δ^a is the operation duration of a .

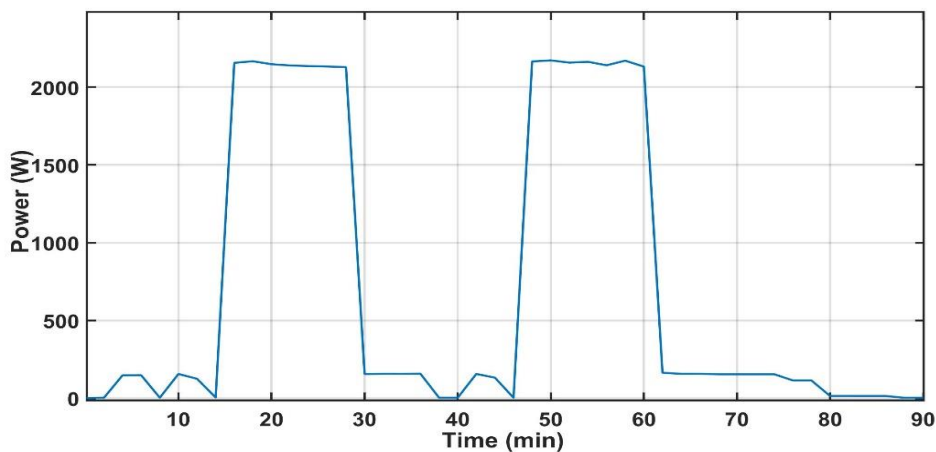


Figure 4: Power consumption profile of a dishwasher

2.2 Home Appliance Control Algorithm

HACS aims to prevent high peak demand and reducing the electricity cost while keeping user comfort. In HACS, in order to reduce electricity costs and prevent high peak demand on grid, time varying limit on power that can be drawn from the grid, namely grid limit, i.e., P_{lim}^{grid} , is specified and stated in the contract between the resident and the energy trader. This grid limit shifts electricity consumption which is high during peak demand periods (such as, evenings when all occupants are at home) to off peak hours leading electricity cost reduction as well as avoiding high peak demand.

HACS is based on appliance interference in the operation of appliances. Interference decision is made according to the expected power consumption and the grid limit. Expected power consumption of a residence at any time slot $t \in T$, i.e., $P_{exp}(t)$, is the sum of expected power consumptions of all appliances. Expected power consumption of an appliance is obtained from the power profile vector, which is previously created in database by measuring average power consumption of that appliance. At the beginning of each time slot $t \in T$, MC communicates with the appliances, and receives the current status request and calculates corresponding expected power consumption at that time slot, i.e., $P_{exp}(t)$ due to the following approach:

- If the expected power consumption does not exceed the grid limit at that time slot t ; i.e., $P_{exp}(t) < P_{lim}^{grid}(t)$:
MC allows all appliances to work as their request at that time slot.
- If the expected power consumption exceeds the grid limit at that time slot t ; i.e., $P_{exp}(t) \geq P_{lim}^{grid}(t)$:

Appliance interference is done on real time due to grid limit and the expected power consumption in the order of appliance priority defined by the user. MC interferes with the appliances in the order of appliance priority (includes only controllable and semi-controllable appliances) defined by the user according to his preferences for considering user comfort. Note that, MC is allowed to interfere with semi-controllable appliances via shifting their operation and controllable appliances via switching their operation mode. MC calculates the new expected power consumption in the case that it interferes with the first appliance in the priority order. If grid limit is not exceeded at that time slot t after this interference, interference is realized and no more interference is made. Updated status is settled and sent to local controllers of appliances as allowed status. If grid limit is still exceeded, MC calculates the new expected power consumption in the case it interferes with the next appliance in the priority order and so on. The corresponding control algorithm of HACS procedure is developed and given as a flowchart in Figure 5.

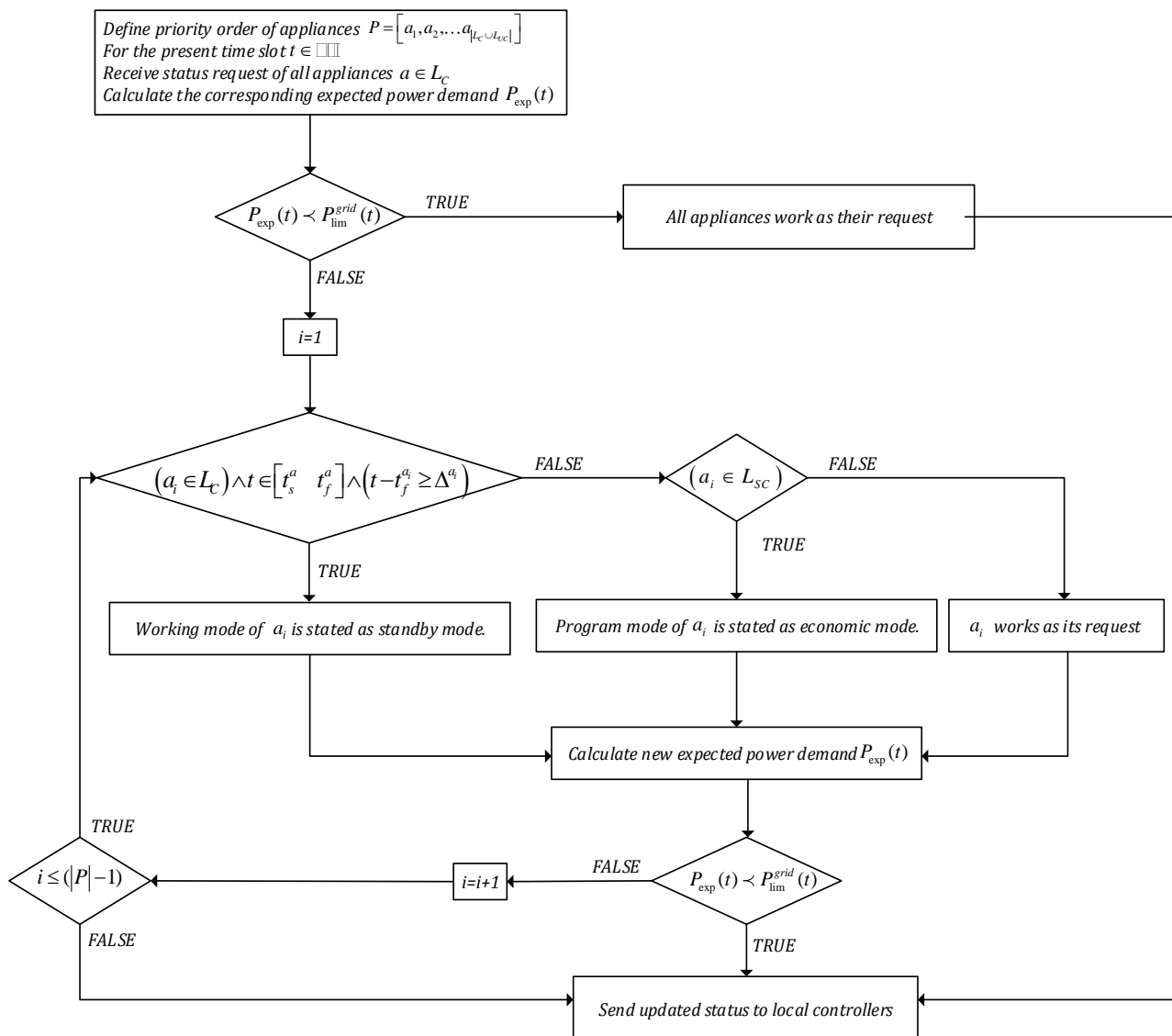


Figure 5: Flowchart of HACS control algorithm

3. Case Study

In order to present the effects of HACS on reducing electricity cost and preventing high peak demand while keeping user comfort, several scenarios are created and analyzed. In the created scenarios, a home equipped with $L_c = \{\text{Washing Machine (WM), Dish Washer (DW)}\}$, $L_{sc} = \{\text{Air Conditioner (AC), Refrigerator (Ref)}\}$, $L_{sc} = \{\text{TV, Lamps}\}$ is considered. Each semi-controllable appliance assumed to have economic program mode as well as other ones such as normal, special, speedy etc. Operation durations of controllable appliances is assumed as 90 min., thus $\Delta^{WM} = \Delta^{DW} = 90 \text{ min}$. Power profile vectors of all appliances are generated in the historical database by measuring their power consumptions using Yokogawa WT 210 power analyzer. For grid power, TOU periods and prices set by Turkish Electricity Distributor Company (TEDAS) are used (as provided in Table 1) and the grid limit, i.e. P_{lim}^{grid} is chosen constant throughout the day. In the scenarios, time slot duration is taken as 2 min., thus $\Delta_t = 2$.

Table 1: TOU Rates

Duration	Cost(Euro/kWh)	P_{lim}^{grid}
6:00 - 17:00	0.094	3000 W
17:00 - 22:00	0.136	3000 W
22:00 - 6:00	0.059	3000 W

In this section, two scenarios will be presented in details. For the first scenario that will be presented here, priority order is defined as $P=[DW, WM, AC, Ref]$ by the user. Besides, the user sets WM to run in [21:10 23:59], and DW to run in [20:00 23:00]. Refrigerator works throughout the day, AC works in [06:00 8:30] and [16:00 23:59], TV works in [20:00 23:59] and lamps work in [17:30 23:59].

For the uncontrolled case, the total power consumption evaluation of the home is given in Figure 6. For this case WM and DW start working at their earliest starting times ($t_s^{WM} = 21:10$, $t_s^{DW} = 20:00$), while all other appliances work at the user-adjusted program modes. As it is clear from the graph, high peak demand occurs at 20:16 – 20:30 and 21:14 -21:26. The maximum demand is 4306.48 W while the electricity cost of the day is 1,61 Euro.

For this scenario, MC directs the appliances according to HACS as follows: Starting time of WM starts working at 21:46 after 36 min from its earliest starting time; while DW starts working at 21:20 after 80 min from its earliest starting time. Air-conditioner works during [21:00 21:20], while 20 min of it proceeds in economic mode. The total power consumption evaluation of the home for this controlled case is given in Figure 7. HACS completely avoids all peak demands exceeding the specified grid limit by reducing the peak demand levels by approximately 37.41%. The maximum demand is occurred as 2695.40 W. The electricity cost of the day is 1.56 Euro, which is 3.10% less than the uncontrolled case.

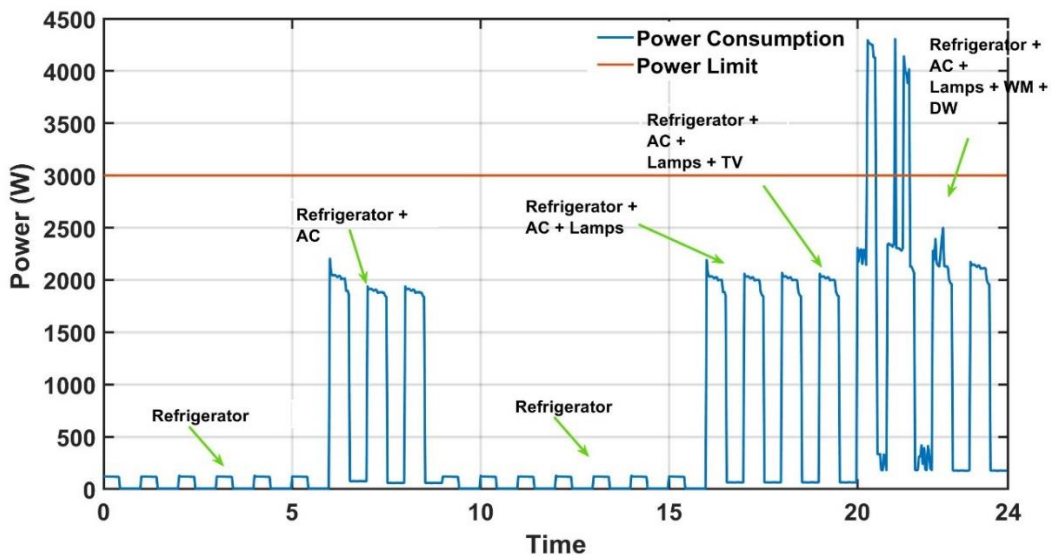


Figure 6: Evaluation of total power consumption for uncontrolled case – Scenario 1

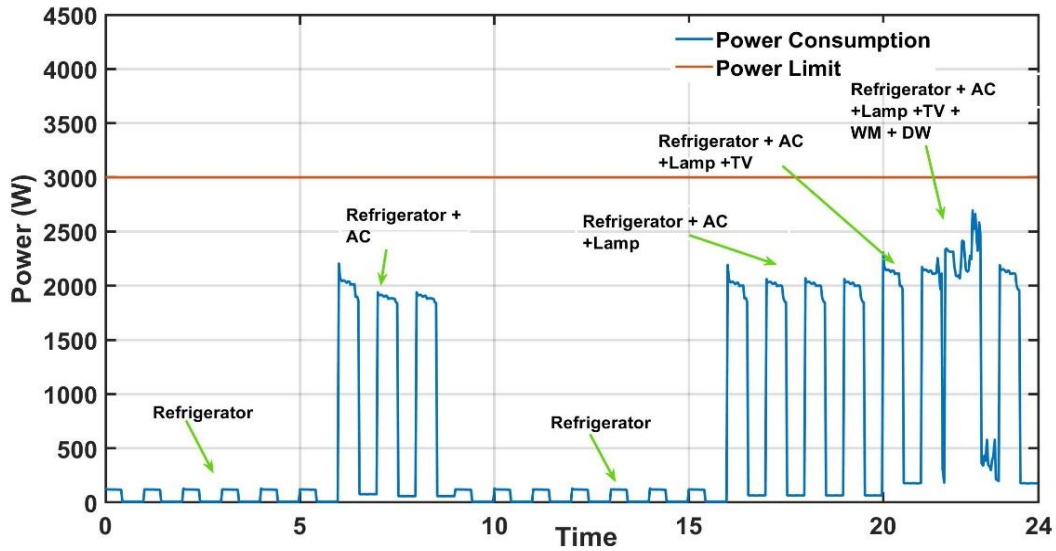


Figure 7: Evaluation of total power consumption for controlled case - Scenario 1

For the second scenario that will be presented here, the priority order is defined as $P=[WM, DW, AC, Ref]$ by the user. Besides, the user sets WM to run in [14:00 20:00], and DW to run in [20:30 23:00]. Refrigerator works throughout the day, AC works in [06:00 8:30] and [18:00 23:59], TV works in [21:00 23:59] and lamps work in [18:00 23:59].

For the uncontrolled case, the total power consumption evaluation of the home is given in Figure 8. For this case WM and DW start working at their earliest starting times ($t_s^{WM} = 14:00$, $t_s^{DW} = 21:30$), while all other appliances work at the user-adjusted program modes. As it is clear from the graph, high peak demand occurs at 22:24– 22:30. The maximum demand is 4286.89 W while the electricity cost of the day is 1.34 Euro.

For this scenario, MC directs the appliances according to HACS as follows: Starting time of WM starts working at 14:00 without any delay; while DW starts working at 22:02 after 32 min from its earliest starting time. Air-conditioner works during [22:18 22:34], while 16 min of it proceeds in economic mode. The total power consumption evaluation of the home for this controlled case is given in Figure 9 while no peak demand occurs. The maximum demand is occurred as 2462.20 W and it is 42.56 % less than the uncontrolled case. The electricity cost of the day is 1.22 Euro, which is 9.06 % less than the uncontrolled case.

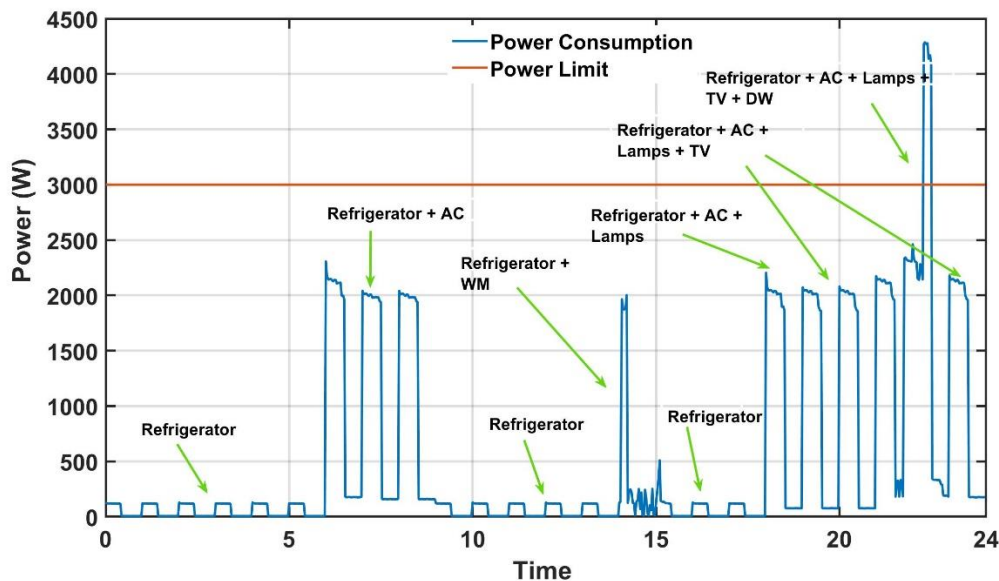


Figure 8: Evaluation of total power consumption for uncontrolled case - Scenario 2

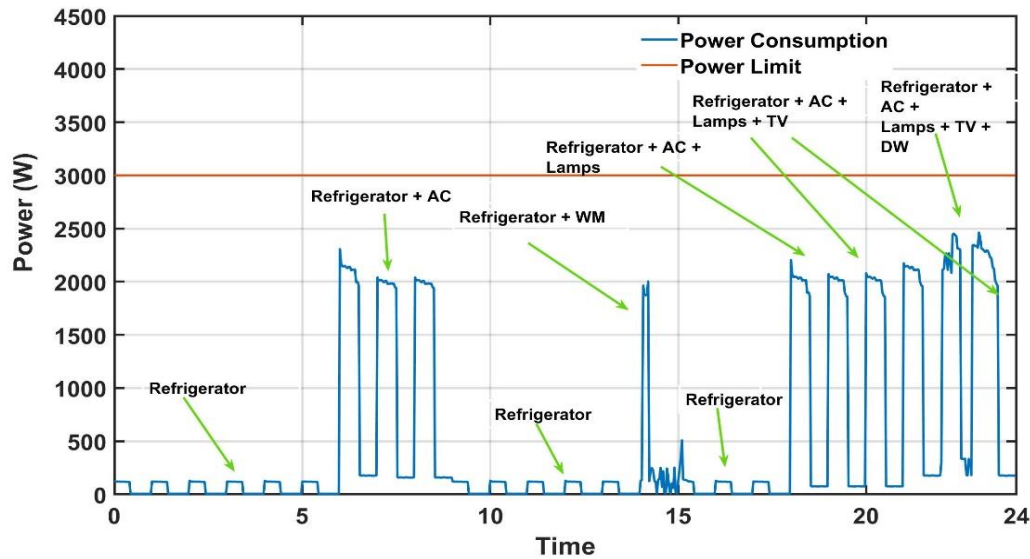


Figure 9: Evaluation of total power consumption for controlled case – Scenario2

According to the results of numerous scenarios (more than 100) carried out above, HACS completely avoids all high peak demands exceeding the specified grid limit by reducing the peak demand levels by approximately 40.4%. Furthermore, electricity costs could be reduced by 6.20%. In Table 2, these values are given.

Table 2: Results of Scenarios

Method	Electricity Cost Reduction	High Peak Demand Avoidance	High Peak Demand Reduction
Scenario-1	3.10%	100%	37.41%
Scenario-2	9.06%	100%	42.56%
⋮	⋮	⋮	⋮
Average of all scenarios(more than 100)	6.20%	100%	40.40%

4. Conclusion

Due to the economic development, increase in global population, and widespread use of technological devices, there has been rapid rise in energy demand recently. Beside the increase in total energy demand, instantaneous high peak demand which causes overload and costly malfunctions in the power grids. In homes where there is a significant amount of electricity consumption, the importance of efficient and controlled use of electricity is increasing.

In this work, a home energy management system based on appliance control for preventing high peak demand and reducing electricity cost while keeping user comfort, namely HACS, and the corresponding algorithm are introduced. HACS consists of a home equipped with smart appliances, grid, communication network and MC. Appliances are separated as controllable, semi-controllable and uncontrollable according to their effects on user comfort. MC is not allowed to interfere with uncontrollable appliances, but with semi-controllable and controllable appliances as much as it is permitted. MC communicates with appliances at the beginning of fixed time intervals and takes the status request of appliances. When it is necessary for preventing high peak demand, MC is allowed to interfere with semi-controllable appliances via shifting their operation and controllable appliances via switching their operation mode. Interference decision is made based on the expected power consumption and the grid limit. If interference is necessary, it is done in the order of appliance priority previously defined by the user according to his preferences.

Unlike most studies in the literature, HACS considers keeping user comfort, avoiding high peak demand and reducing the electricity cost simultaneously. Besides, real power consumption profiles of appliances are used instead of their average powers assuring to detect even short-term peak demands.

In order to show the effects of HACS, several scenarios are designed and corresponding simulations are performed. According to the results of these simulations, HACS completely avoids all high peak demands exceeding the

specified grid limit by reducing the peak demand levels by approximately 40.40%. Furthermore, electricity costs could be reduced by 6.20%. Simulation results demonstrate the effectiveness of the HACS on cost reduction and preventing high peak demand while keeping user comfort.

Acknowledgment

This work is supported by Eskisehir Technical University through Research Project 19ADP104.

Nomenclature

Symbol	Description	Symbol	Description
t	time slot	t_s^a	earliest starting time of an appliance $a \in L$
T	the set $\{1, 2, \dots, T\}$ of time slots	t_f^a	latest finishing time of an appliance $a \in L$
T	the number of uniform time slot in a day	Δ^a	operation duration of an appliance $a \in L$
Δ_t	the length of each time slot t	$P_{\text{lim}}^{\text{grid}}$	grid limit
a	appliance	$P_{\text{exp}}(t)$	expected power consumption of appliances
L	the set of appliances	a_i	i^{th} prioritized appliance
L_{UC}	the set of uncontrollable appliances	P	the priority order vector $[a_1, a_2, \dots, a_{ L_C \cup L_{UC} }]$
L_{SC}	the set of semicontrollable appliances		
L_C	the set of controllable appliances		

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

- Apaydin Ozkan H. (2016). Appliance based control for home power management systems, *Energy*, vol. 114, pp. 693-707.
- Bui, K.-H., Jung, J. J., and Camacho, D. (2018). Consensual negotiation-based decision making for connected appliances in smart home management systems. *Sensors*, 18:2206
- Chauhan, R. K. and Chauhan, K. (2019). Building automation system for grid-connected home to optimize energy consumption and electricity bill. *Journal of Building Engineering*, 21:409 – 420.
- Conejo A., Morales J. and Baringo L., (2010). Real-time demand response model. *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol.1, pp. 236-242.
- Daryanian R. and Bohn B., (1989) Optimal demand-side response to electricity spot prices for storage-type customers, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 4 pp. 897-903.
- Du P. and Lu N., Appliance commitment for household load scheduling *IEEE Trans. Smart Grid*, 2 (2) (2011), pp. 411-419,
- Fernandes F., Morais H, Vale Z and Ramos C., Dynamic load management in a smart home to participate in demand response events, (2014). *Energy and Buildings*, vol 2., pp. 592-606.
- Izmitligil H. and Apaydin Ozkan H.(2018). A Home energy management system. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, vol. 40, pp. 2498-2508.
- Kim T. and Poor H., Scheduling power consumption with price uncertainty,(2011). *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol.2, pp. 519-527.
- Lee, E. and Bahn, H. (2013), 'Electricity usage scheduling in smart building environments using smart devices', *The Scientific World Journal* 2013(2), 134–143.
- Mohsenian-Rad A., Wong V., Jatskevich J. and Schober R., (2010). Optimal an autonomous incentive-based energy consumption scheduling algorithm for smart grid, *Proceedings of Innovative Smart Grid Technologies*, pp. 1-6.
- M. Pipattanasomporn, M. Kuzlu and S. Rahman, An algorithm for intelligent home energy management and demand response analysis,(2012). *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, pp. 2166-2173.
- M. Erol-Kantarci and H. Mouftah, Wireless sensor networks for cost-efficient residential energy management in the smart grid, (2011). *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol 2., pp. 314-325.
- O'Neill, D., Levorato, M., Goldsmith, A. and Mitra, U. (2010), Residential demand response using reinforcement learning, in 'Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010 First IEEE International Conference on', pp. 409–414.
- Rahimi F. and Ipakchi A., (2010). Demand response as a market resource under the smart grid paradigm, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol.1, pp. 82-88.
- Scheweppe F., Daryanian B. And Tabors R., (1989). Algorithms for a spot price responding residential load controller, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 2, pp.507-516.



BETONDA CFRP SARGI UYGULAMASININ DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

İlker USTABAŞ^{1*}, Ali GÜRBÜZ¹, Zafer KURT¹, Fatih DEŞİK²

¹ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Rize, Türkiye

² DSİ 182. Şube Müdürlüğü, Merkez, Burdur, Türkiye

Anahtar Kelimeler

CFRP,
Karbon Elyaf,
Güçlendirme,
CFRP Modelleme,
Ansys.

Öz

Karbon fiber takviyeli kumaşlar (CFRP) gibi çeşitli polimer kompozitlerin deprem dayanımı yetersiz yapıların güçlendirilmesinde kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu yeni güçlendirme yöntemi sargı etkisiyle betonarme elemanların basınç dayanımını artırırken sünek davranışa da önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında; mevcut bir yapıdan karot numuneler alınmıştır. Bu karot numuneler CFRP ile sarılarak güçlendirilmiş ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Aynı zamanda karot numuneler ANSYS yazılımıyla bilgisayar ortamında modellenerek bu model üzerinden teorik basınç dayanımları hesaplanmış ve bu teorik değerlerin deneysel dayanımlarla kıyaslanması yapılmıştır. Elde edilen teorik ve deneysel basınç dayanımları konuya ilişkin literatürle karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda tek kat ve iki kat CFRP sarılarak güçlendirilen numunelerin gerilme deformasyon sonuçları literatürdeki çalışmalarla örtüşen sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel ve teorik değerlerin birbiriyle uyumlu olduğu bir modelleme yaklaşımı ortaya koyulmuştur.

EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL COMPARISON OF CFRP CONFINEMENT APPLICATION ON CONCRETE

Keywords

CFRP,
Carbon Fiber
Strengthening,
CFRP Modelling,
Ansys.

Abstract

The use of various polymer composites such as carbon fiber reinforced fabrics (CFRP) in strengthening structures with insufficient earthquake resistance is becoming widespread in the building industry. While this new reinforcement method increases the tensile strength of reinforced concrete structural elements with the effect of winding, it also contributes significantly to ductile behavior. In this study, core samples were taken from a structure with a lower strength than the target strength. These core samples were reinforced by wrapping them with CFRP and their compressive strength was measured. At the same time, core samples were modeled in computer environment with ANSYS software, and theoretical compressive strengths were calculated on this model and comparison of these theoretical values with experimental strengths. The theoretical and experimental compressive strengths obtained were compared with the relevant literature. In this study, stress deformation results of the samples reinforced by wrapping single layer and two layers of CFRP were obtained that overlap with studies in the literature. A modeling approach in which experimental and theoretical values are compatible with each other has been introduced.

Alıntı / Cite

Ustabaş, İ., Gürbüz, A., Kurt, Z., Deşik, F., (2020). Betonda CFRP Sargı Uygulamasının Deneysel ve Analitik Olarak Karşılaştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 921-930.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

İ. Ustabaş, 0000-0003-0473-2543
A. Gürbüz, 0000-0003-1123-9968
Z. Kurt, 0000-0002-4948-6318
F. Deşik, 0000-0001-5035-1894

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	07.08.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	25.08.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	15.09.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

* İlgili yazar / Corresponding author: ilker.ustabas@erdogan.edu.tr, +90-464-223-7518/1224

1. Giriş (Introduction)

Türkiye’deki yapı stokunun ve nüfus yoğunluğunun önemli bir kısmı deprem tehdidi altındadır. Türkiye’de yapılan birçok bilimsel çalışma, mevcut yapıların önemli bir kısmının depreme hazır olmadığını ve güçlendirilmeye ihtiyaç duyduğunu göstermektedir (Ustabas, 2012; Kurt ve Ateş, 2019; Gurbuz ve Tekin, 2017);(Dilmaç vdig., 2018); (Dilmaç, H., 2020); (Tekeli vdig., 2020). Tehlike altındaki çok sayıda yapının kısa sürede güçlendirilebilmesi için etkili ve hızlı uygulanabilir yöntemlere ihtiyaç vardır. Bu amaçla yapıların depreme karşı güçlendirilmesine ilişkin çok sayıda malzeme ve yöntem geliştirilmiş ve halen geliştirilmektedir (Ustabas ve Deşik, 2020; Baki vd., 2020.; Mirmiran ve Shahawy, 1997). Lifli polimer kompozitler (FRP) de literatürde yapı güçlendirme amacıyla sıkça kullanılan bu malzemeler arasında gösterilmektedir (Eid ve Paultre; 2017.; Çelik ve Karasın, 2014). FRP’ler son derece hafif bir malzeme olmaları ve şantiye sahasında uygulama kolaylığı gibi avantajları nedeniyle yapı güçlendirmelerinde tercih edilmeleri artmaktadır. İnce tabakalar şeklinde kullanılmasına karşın çok yüksek çekme dayanımına sahip olmaları özellikle betonarme elemanlar için FRP’yi bir kat daha önemli kılmaktadır (Lee vd., 2017.; İlki vd., 2003). Betonarme yapı elemanları genellikle santimetre ve metre ile ölçülür boyutlardadır. Milimetre düzeyindeki farklar sıva ve boya ile değişebilen tolerans sınırları içerisinde kalmaktadır (Karasin vd., 2010). Böylelikle FRP ile yapılan güçlendirmelerde eleman boyutları neredeyse hiç değişmemektedir. Bu da önemli bir avantajdır. Bunun yansira betonun en büyük eksiği olan çekme dayanımındaki yetersizlikleri bertaraf etmek için FRP sargılama yönteminin başarılı sonuçlar verdiği literatürde yapılan sayısız araştırma ile doğrulanmaktadır (Karasin vd., 2010., İlki vd., 2008., Mert ve Elmas, 2007). FRP malzemeler kullanılarak güçlendirilen yapı elemanlarının hem basınç kapasiteleri hem de süneklik değerleri kolaylıkla artırılabilir (Vincet ve Ozbakkaloglu, 2016.; Mirmiran ve Shavy, 1997). İlgili literatür incelendiğinde; tüm araştırmacılar FRP kompozitlerin yapı elemanlarının performansına önemli ölçüde katkı yaptığı konusunda hemfikirdirler (Lee vd., 2017; Yin vd., 2016.; Ozbakkaloglu ve Lim, 2013; Seffo ve Hamcho, 2012.; Xiao ve Wu, 2003).

Gelişen beton teknolojisiyle birlikte inşaat mühendisliğinde madencilikten ulaşıma bir çok yeni alan açılmıştır (Hiçyılmaz ve Özçelik, 2019). Beton teknolojisindeki gelişmelerle birlikte hızla artan beton dayanımları süneklik sorununa çözüm arayışlarını da beraberinde getirmektedir (Sarıbiyık, 2017). Genel olarak yüksek dayanımlı betonların kullanıldığı yapılar, geleneksel betonların kullanıldığı yapılardan daha gevrek bir davranış sergilemektedir. Fiber takviyeli polimerlerle bu soruna da çözüm sunulabilir (Stolla vd., 2000). Yüksek dayanımlı beton kullanılan yapı elemanları fiber takviyeli polimerlerle dıştan sarılarak gevreklik sorunu çözülebilmektedir. Bu noktada sıkça tercih edilen polimerlerin başında karbon lif takviyeli olan kumaşlar gelmektedir. Karbon liflerle güçlendirilmiş polimerler (CFRP) FRP kompozitlerin bir çeşididir (Turgay vd., 2010). Çelikten daha yüksek elastisite modülüne sahip bu malzemenin dıştan sargılanmasıyla betonarme eleman süneklik kazanırken betonun çekme dayanımındaki zafiyet de telafi edilebilmektedir.

Bu çalışmada, hedeflenen dayanım sınıfından düşük kalan bir yapının betonunun CFRP ile bir kat ve iki kat olarak sarılarak beton basınç dayanımlarının artırılması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında mevcut yapıdan karot numuneler alınarak, karot numunelerde ve CFRP sargılı karot numunelerde basınç dayanımları ölçülmüştür. Laboratuvarında deneye tabi tutulan betonlar ANSYS yazılım programıyla modellenerek bilgisayar programından da dayanımları hesaplanmıştır. Deneysel basınç dayanımlarıyla teorik basınç dayanımları kıyaslanmıştır. Böylelikle bu çalışma ile uygulanan model üzerinden araştırmacıların deneysel olarak uzun uğraşlarla elde ettikleri verilerin bir bilgisayar programı üzerinden daha çok miktarda ve türde veri elde etmesine imkan sağlanacaktır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada Ferhatlı – Gümüşhane Köy Yolu İnşaatı İncesu Köprüsü kolonlarından 9 adet karot numunesi alınmıştır. Karot numunelerinin anma çapı 100 mm’dir. Numune boyutları ayrıntılı olarak Tablo 5’de verilmiştir. Karotlar kükürt grafit karışımı ile başlıklanmışlardır. Karot numunelerinin üç tanesi sargısız olarak, üç tanesi bir kat CFRP sargılı olarak ve üç tanesi iki kat CFRP sargılı olarak TS EN 12390-3’e göre basınç dayanımları ölçülmüştür.

2.1. Çalışmada Kullanılan Malzeme Özellikleri (Material Properties Used in Study)

Bu çalışmada karot numune alınan köprü kolon betonlarında CEM I 42,5 R sınıfı çimento kullanılmıştır. Köprü kolonlarında kullanılan betona ait karışıma giren malzemeler ve karışım oranları Tablo 1’deki gibidir.

Tablo 1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Beton Karışım Malzemeleri (Concrete Mixed Materials Used Experimental Study)

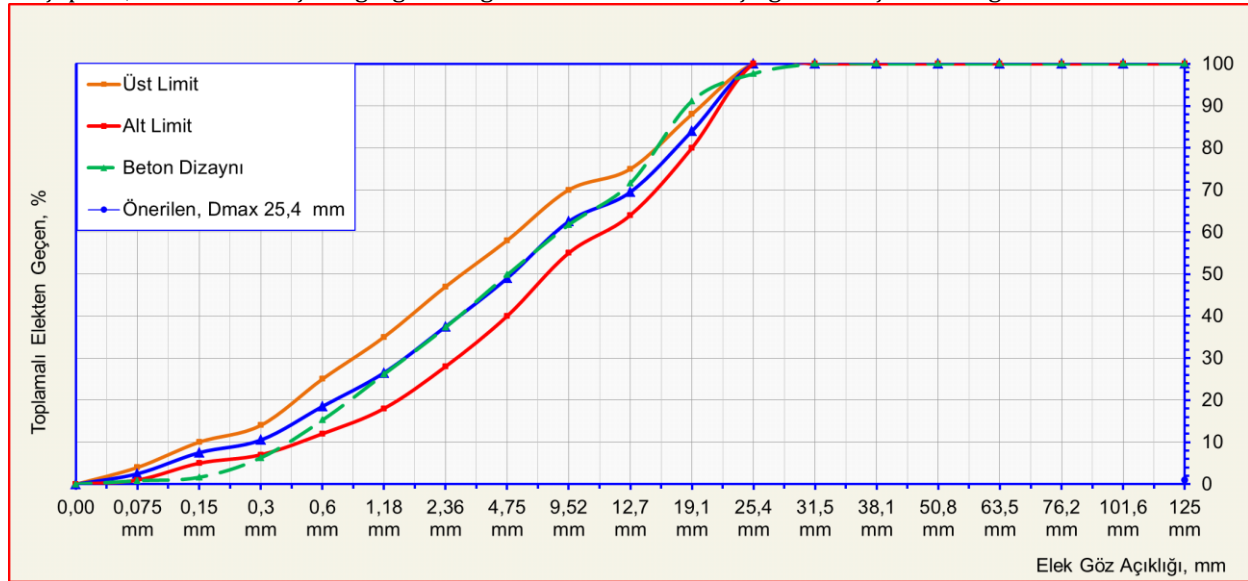
Çimento Dozajı	Su	S/Ç	Kimyasal Katkı		12-25 mm		5-12 mm		0-5 mm	
			kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
350	187	0.53	4.2	1.2	496.7	28	372.5	21	904.6	51

Beton karışımında süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Betonda kullanılan agrega tane büyüklüğüne göre, bağıl yoğunluğu, su emme, ince madde oranı, incelik modülü ve metilen mavisi değerleri Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Betonda kullanılan agregaya ait fiziksel özellikler (Physical Properties of Aggregate Used in Concrete)

Agrega ebadı (mm)	Bağıl yoğunluk (kg/dm ³)	Su emme (%)	İnce madde oranı (%)	İncelik modülü	Metilen mavisi
12-25	2,66	1,6	0,6	-	-
5-12	2,62	1,9	0,9	-	-
0-5	2,60	2,5	8,7	3,1	1,0

Beton dizaynında kullanılan agrega granülometrisi Şekil 1'de görülmektedir. Şekil 1'deki agreganın maksimum tane çapı 31,5 mm'dir. Karışım agregasının granülometrisi kesikli çizgi olarak Şekil 1'de görülmektedir.

**Şekil 1.** Beton dizaynında kullanılan agrega granülometrisi (Aggregate Granulometry Used in Concrete Design)

Numuneleri güçlendirmek için kullanılan CFRP kumaş ve epoksi setinin üretici tarafından bildirilen özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. CFRP Kumaş ve Epoksinin Malzeme Özellikleri (Material Properties of CFRP Fabric and Epoxy)

	CFRP	Epoksi
Yoğunluk	1850 kg/m ³ ,	1300 kg/m ³ ,
Çekme dayanımı	4200 MPa.	50MPa
Elastisite modülü	240000 MPa	3800MPa
Kopma uzaması :	%1.8	%0.9
Poisson oranı (%)	0.2	-

Tablo 3'deki veriler malzeme tedarikçilerinden temin edilmiştir. Şekil 2'de köprü kolonlarından alınan karotlar görülmektedir. Köprü kolonlarından alınan 9 adet numuneden 3 tanesi standart karot numuneleri ayrıldıktan sonra kalan 6 numune epoksi yapıştırıcıyla yapışması için 3 gün bekletilerek, beton hava kurusu durumuna getirilmiştir. 3 gün bekletilen numunelerin yüzeyleri temizlenmiştir. Epoksi esaslı astar A (karışım miktarı:2,76 kg) ve B (karışım miktarı:1,24 kg) tipi 3 dakika boyunca karıştırıldıktan sonra numunelerin dış yüzeyine sürülüp

1 saat kurumaya bırakılmıştır. Ardından epoksi A tipi(karışım miktarı:3,73 kg) ve B tipi (karışım miktarı:1,27 kg) karışım kuruyan astarın üzerine uygulanmıştır. Tek yönlü, lifli polimer kumaş tipi karbon elyaf numunelere sarılmıştır. Çift kat sargı uygulanan numuneler 3 kat tek sargılı numuneler 7 gün kurumaya bırakıldıktan sonra üzerine tekrar epoksi yapıştırıcı sürülerek bir kat daha karbon elyaf kaplanarak üretilmişlerdir. Şekil 2'de karot numunelerinin karbon elyafı kaplanma aşamaları ve basınç dayanımı uygulanması görülmektedir.

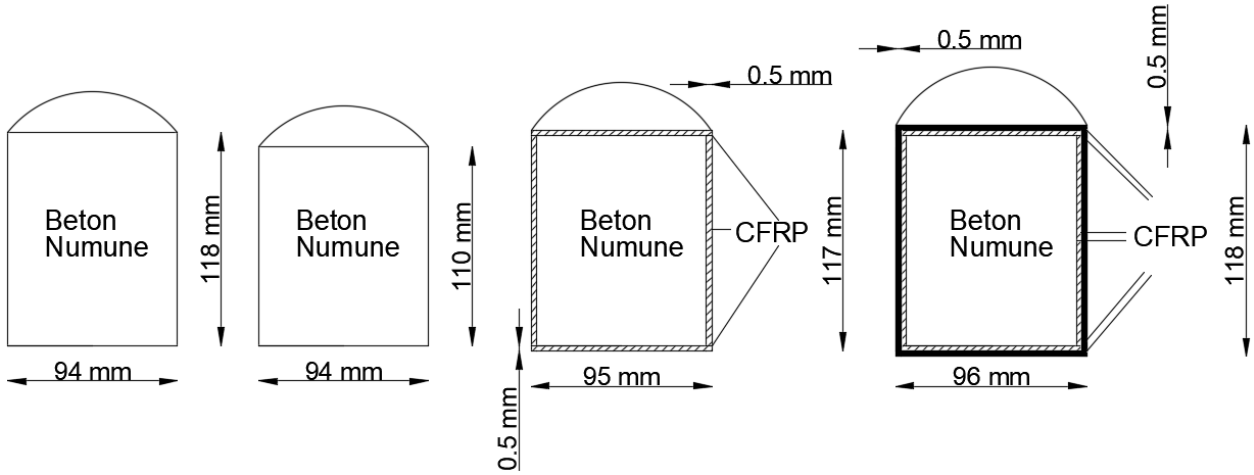


Şekil 2. Numunelerin CFRP kaplama ve basınç deneyine tabi tutulma aşamaları (Stages of Subjecting Samples to CFRP Coating and Pressure Testing)

2.2. Ansys Analiz ve Modelleme (Ansys Analysis and Modelling)

Basınç dayanımı testine tabi tutulan karot numuneler Ansys Workbench v17.2 sonlu eleman paket programında Şekil 3'de verilen boyutlarda modellenmişlerdir.

Modelleme yapılırken betonun nonlineer özelliklerini dikkate almak için Ansys Workbench paket programı malzeme kütüphanesinde bulunan Drucker-prager malzeme parametreleri kullanılmıştır. Aşağıda Tablo 4'de kullanılan betonun lineer ve nonlineer parametreleri verilmektedir.

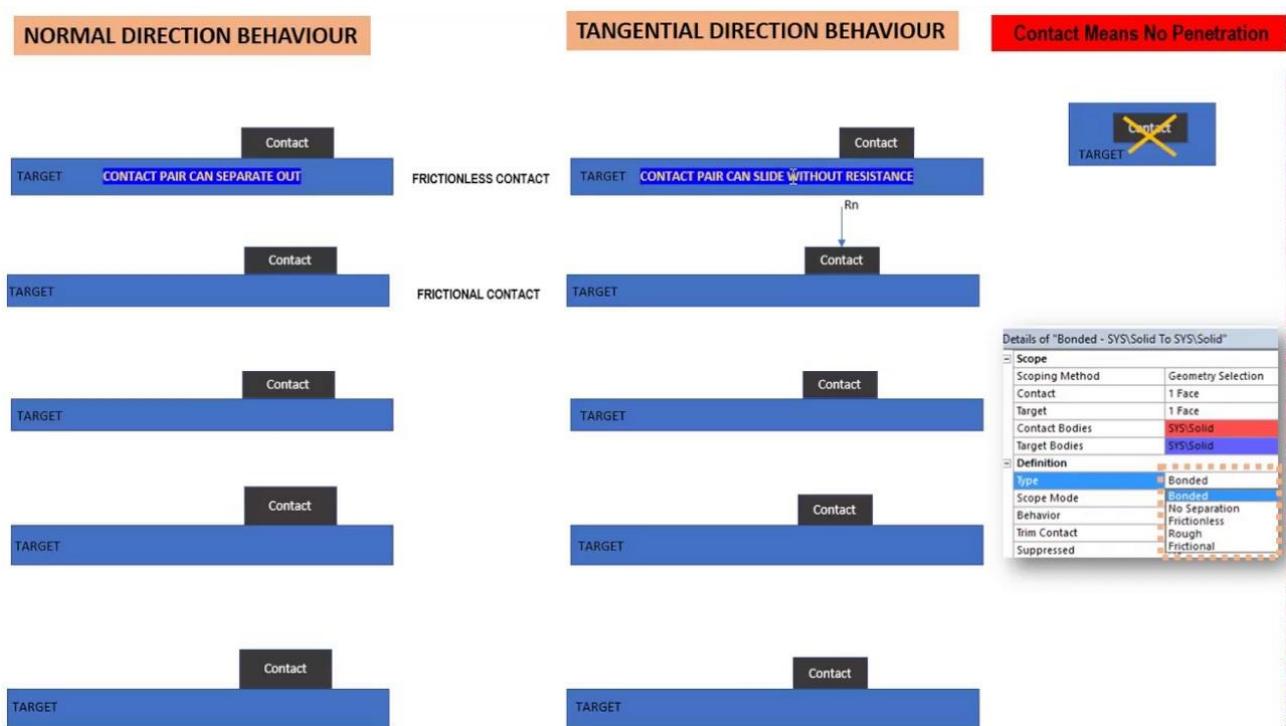


Şekil 3. Karot numunelerinin Ansys Workbench v17.2'deki modelleme boyutları (Modelling Dimensions of Core Samples in Ansys Workbench v17.2)

Tablo 4. Lineer ve Nonlinear Parametreler (Linear and Nonlinear Parameters)

Lineer Parametreler	Değer
Yoğunluk (kg/m^3)	2300
Elastisite Modülü (Pa)	$3\text{E}+10$
Poisson Oranı	0.18
Hacim Modülü (Pa)	$1.5625\text{E}+10$
Kayma Modülü (Pa)	$1.2712\text{E}+10$
Nonlinear Parametreler (Drucker-Prager)	Değer
Ölçek	1
Öteleme (Pa)	0
Maksimum Çekme Gerilmesi (Pa)	$-4\text{E}+06$

Şekil 4'de kontakt tipleri ile ilgili bilgiler verilmektedir. Modelleme esnasında epoxy malzeme tanımlanmamış, CFRP malzemenin birbirine ve beton numunelere temas ettiği noktalarda kontakt tipi olarak bonded seçilmiştir. Bonded kontakt tipinde kullanılan geometrinin hem geometri eksenini hem de geometri eksenine dik doğrultuda yer değiştirmedeği kabul edilmektedir.

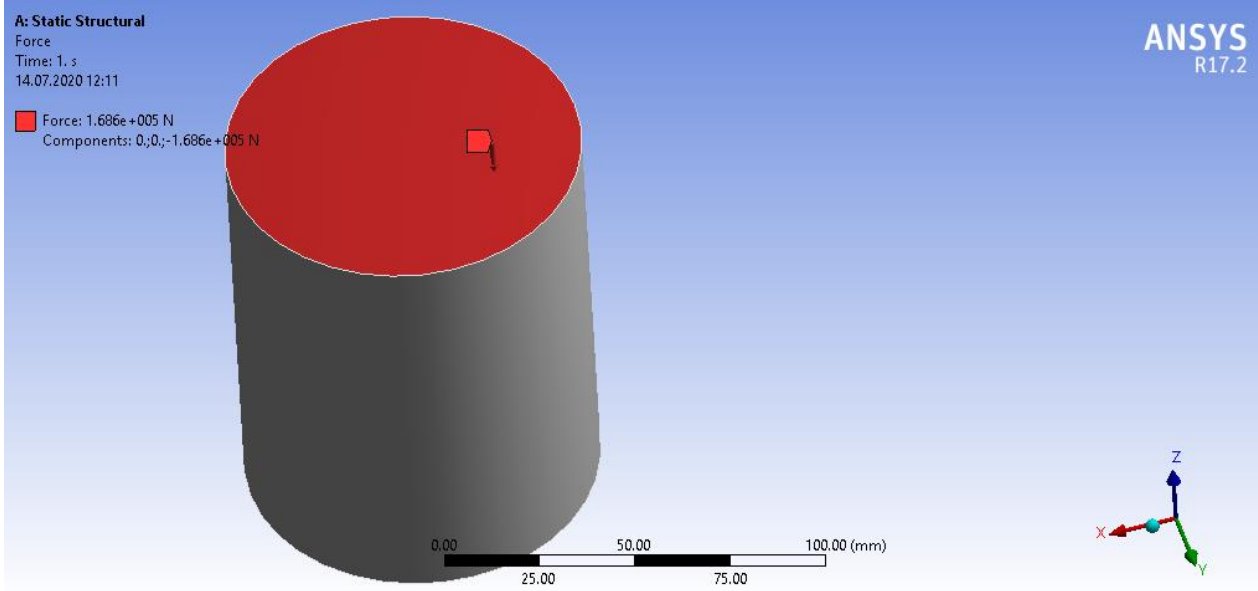


Şekil 4. Temas Tipleri (Contact Types) (URL-1)

Analiz esnasında yük olarak numunelerin tek eksenli basınç deneyinden elde edilen kırılma yükü -Z ekseninde numunenin üst düzlemine etkilmiştir. Etkitilen kırılma yükü aşağıdaki Tablo 5 ve Şekil 5’de verilmiştir.

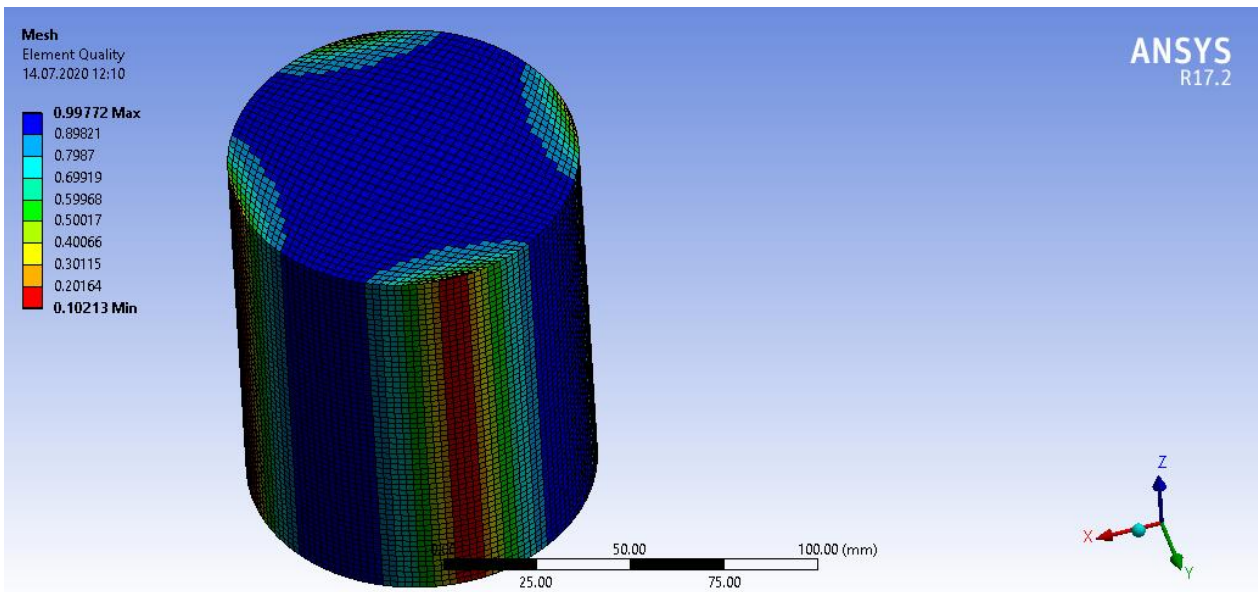
Tablo 5. Numunelerin Analizlerdeki Kırılma Yükleri (Failure Loads of Samples in Analysis)

Numune Kodu	Çap (mm)	Yükseklik (mm)	Kırılma Yükü (kN)
K-SRGSZ1 (CFRP siz)	94	118	168.60
K-SRGSZ1 (CFRP siz)	94	110	178.00
K-TKSRGL1 (Tek Kat CFRP)	95	117	357.40
K-ÇFTSRGL1 (Çift Kat CFRP)	96	119	488.20



Şekil 5. Numunelere -Z ekseninde uygulanan yük (Load Applied to -Z Axis) (Ansys Workbench V17.2)

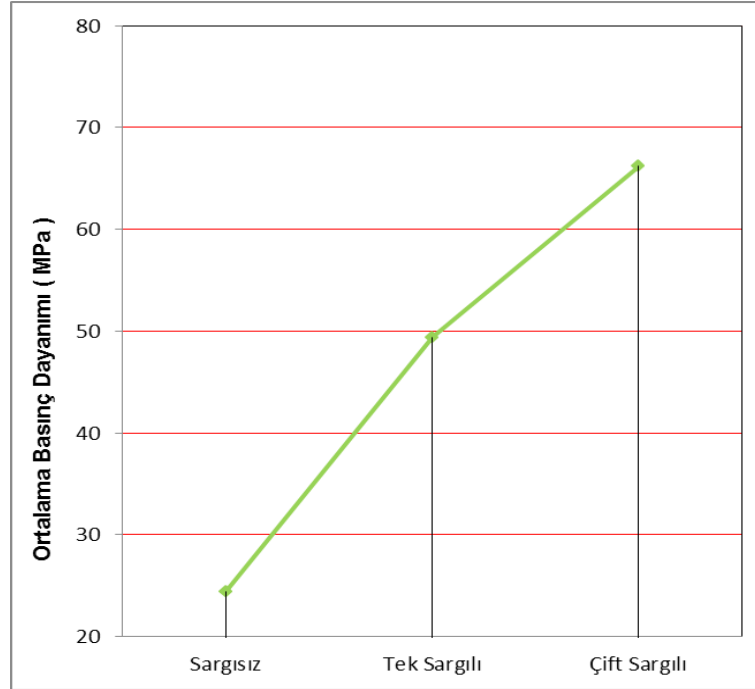
Sonlu elemanlar yönteminin doğru ya da kabul edilebilir sonuçlar verebilmesi için sonlu eleman diğer bir deyişle mesh kalitesi önemli bir yer tutmaktadır. Mesh boyutu yer değiştirmeleri çok etkilememesine rağmen yer değiştirmenin dördüncü derece türevi olarak ifade edilebilen gerilmelerde hata oranı kümülatif olarak artmaktadır. Bu nedenle doğru ve kabul edilebilir gerilme sonuçları için küçük mesh boyutları kullanmak doğru bir tercih olacağı öngörülmektedir. Ayrıca kullanılan numuneler dairesel olduğundan dolayı hegzagonal mesh seçeneği kullanılması uygun görülmüştür. Bu çalışmada karot numuneler Şekil 6’da görüldüğü gibi mesh edilip maksimum mesh boyutu olarak 2 mm, ortalama mesh kalitesi ise yaklaşık olarak %87 kullanılmıştır.



Şekil 6. Mesh kalitesi (Mesh quality) (Ansys Workbench V17.2)

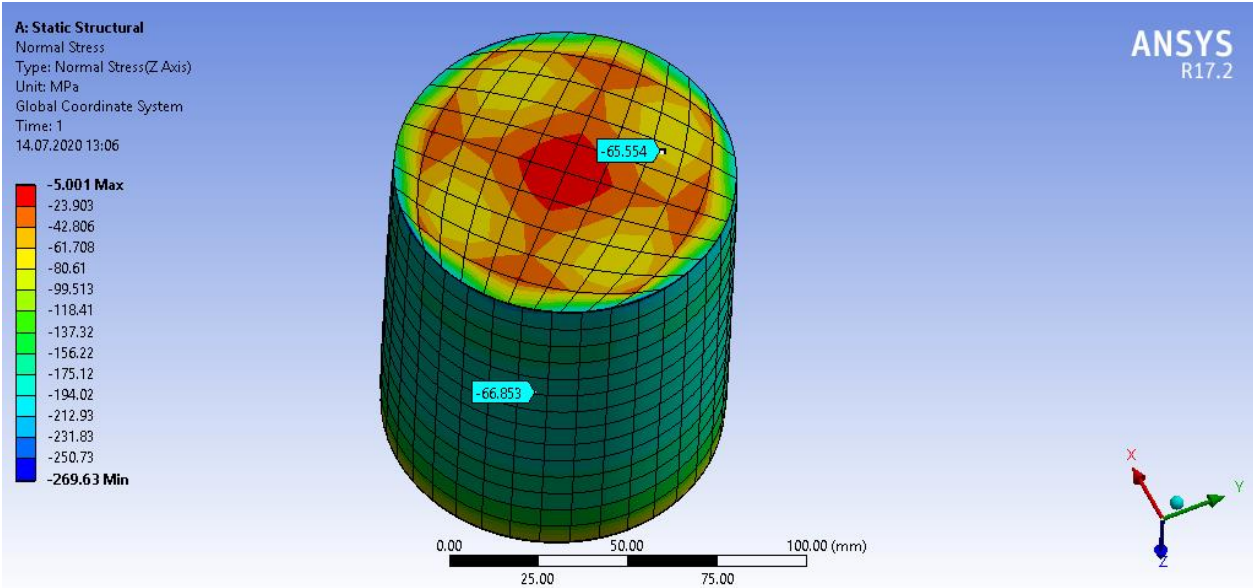
3. Bulgular(Experimental Results)

Bu çalışmada Ferhatlı – Gümüşhane Köy Yolu üzerindeki İncesu köprüsü sertleşmiş betonundan alınan 100mm anma çapa sahip 3'er adet numuneye ait ortalama basınç dayanımları Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. İncesu Köprüsünden Alınan Karot Numunelerin Ortalama Basınç Dayanımları (Average Compressive Strengths of Core Samples Taken from İncesu Bridge)

Şekil 7'de İncesu Köprüsü beton imalatlarından alınan karot numunelerin ortalama basınç dayanımı 24,8MPa olarak ölçülmüştür. Tek sargı karbon elyaf ve çift sargılı karbon elyaf kaplanması beton basınç dayanımını artırmaktadır. Şekil 8'de Ansys analiz programında modellenmiş çift sargı CFRP sargılı karot numunelerinde elde edilen numunelerdeki basınç gerilim dağılımı görülmektedir.



Şekil 8. Çift kat CFRP sargılı analiz modeli üzerinde gerilme dağılımları (Stress Distributions on Double CFRP Wrapped Analysis Model) (Ansys Workbench V17.2)

Tablo 6'da Ansys Workbench v17.2 sonlu eleman paket programında elde edilen basınç ve sayısal basınç dayanımları ile deneysel basınç dayanımları arasındaki oransal farklar görülmektedir.

Tablo 6. Analiz ve deney sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of Analysis and Experimental Results)

Numune Kodu	Ansys (MPa)	Deney (MPa)	Rölatif Hata (%)
K-SRGSZ1 (CFRP siz)	24.5	24.8	1.2
K-TKSRGL1 (Tek Kat CFRP)	47.9	49.4	3.04
K-ÇFTSRGL1 (Çift Kat CFRP)	65.5	66.2	1.06

DeneySEL karot numuneleri basınç dayanımları ile sayısal olarak hesaplanan basınç dayanımları arasında %1 ile %3 arasında değişen farklar görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç (Discussion and Conclusion)

Bu çalışma kapsamında sargısız, tek kat CFRP sargılı ve iki kat CFRP sargılı silindirik beton numunelerin basınç dayanımları deneysel ve sayısal olarak karşılaştırılmıştır. Çalışmada karot alınan sargısız numunelerin ortalama basınç dayanımı 24,8MPa olarak elde edilmiştir. Sargısız numunelere 0,5 mm kalınlığında epoksi ile tek yönlü CFRP kumaş sargı takviyesi yapıldığında ortalama numune dayanımının %95 artışla 49.4MPa'ya çıktığı görülmüştür. Çift kat (toplam 1mm) sargı uygulandığında ise basınç dayanımının sargısız numuneye oranla %167 artışla 66.2MPa'ya ulaştığı görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen değerler literatürde benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında birbirleriyle tutarlı sonuçlar olduğu görülmektedir (Liv d., 2020). Literatürde bu konuyla ilgili birbirinden farklı değerler elde edilmiş ve tek kat sargı için %100'e varan iki kat sargı içinse %200'e varan dayanım artışı elde edilmiştir. Elbette bu artış sargı malzemesinin özelliklerine, numunelerin boyutlarına, beton kalitesine ve uygulanan yüklemeye göre değişiklik göstermiştir. Bununla birlikte yapılan araştırmaların çoğunda 150x300 mm standart silindirik numune boyutları tercih edilmiştir. Bu boyutlar için CFRP güçlendirme ile kazanılan dayanım artışında literatür ortalaması tek kat sargı için %25, çift kat sargı içinse %50 civarındadır (Çelik ve Karşın, 2014; Lam ve Teng, 2009; İlki vd., 2003;). Bazı çalışmalarda ise %100'ü aşan dayanım artış değerleri elde edilmiştir (Adibelli vd., 2017). Literatürdeki farklı sonuçlar birçok sebebe bağlanabilir. Kullanılan polimerin özellikleri başta olmak üzere güçlendirilen elemanın boyutları ve beton sınıfı gibi faktörler de dayanım artışını etkilemektedirler. Standart numunede beton dayanım sınıfı azaldıkça CFRP sargının etkisi daha hissedilir olabilmektedir. Bir diğer etkense numunelerin çap ve boylarıdır. Numune çapı arttığında sargı etkisi nispeten azalmaktadır. Numune boyu arttıkça da sargı etkisinde azalma beklenebilir. Örneğin Sarıyılık, (2017) yaptığı çalışmada 150x300mm boyutlarındaki silindirik numuneleri tek kat ve çift kat CFRP sargı ile güçlendirmiştir. 30MPa olan standart numune dayanımının tek kat sargı ile %67'lik artışla 50MPa'ya yükseldiği; çift kat CFRP sargıda ise %113'lük artışla 64MPa'ya yükseldiği görülmüştür (Sarıyılık, 2017). Bu çalışmada kullanılan silindirik numunelerin çapları 94mm ve boyları 110-120mm aralığındadır. Bu boyutlar için elde edilen dayanım artış değerlerinin literatür ortalamasının üzerinde olması beklenen bir durumdur.

Çalışma kapsamında elde edilen deneysel veriler Ansys programıyla bilgisayar ortamında modellenerek elde edilen Tablo 6'deki veriler; tanımlanan bilgisayar modellerinin %1-3 hata payıyla deneysel verileri doğruladığını göstermektedir. Nonlineer malzeme özellikleri ve katı cisimler arası temas problemleri dikkate alındığında elde edilen değerler oldukça yaklaşık sonuç vermektedir (Yaylacı vd., 2019). Bu durum laboratuvar ortamında çok sayıda deney numunesi üretilerek elde edilecek deneysel verilerin bilgisayar ortamında çok daha kolay ve kısa sürede elde edilebileceğini göstermektedir.

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- 1- Betona epoksi ile CFRP sargısı basınç dayanımını artırmaktadır.
- 2- Bu çalışmadaki özellikte ve boyutlarda bir beton numunesinin basınç dayanımında tek sargı ile %64'e, çift sargı ile %167'e varan oranlarda basınç dayanımı artışı elde edilebilmektedir.
- 3- Betona CFRP sargısı numune kesit boyutlarında çok az miktarda artışa yol açmasına rağmen basınç dayanımlarını önemli oranda artırmaktadır.
- 4- Ansys programıyla uygun modelleme yaklaşımı ile deneysel olarak elde edilen değerlere oldukça yakın basınç dayanım değerleri elde edilebilmektedir.
- 5- Bu çalışmada önerilen modelleme yaklaşımı CFRP sargılama ile gerçekleştirilecek güçlendirme projelerinde kullanılabilir bir yöntemdir. Böylece güçlendirilecek yapının ve taşıyıcı sistem elemanlarının CFRP sargı sonrası dayanım değerlerinin hesaplanabileceğini ortaya koymuştur.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma T.C Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) Artvin beton laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı tüm kurum çalışanlarına teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Adibelli, H., Unal, I., Varisli, M. (2017). Karbon elyaf ve cam elyaf kumaş ile sargılı betonların eksenel basınç altında davranışı, 20. ULUSAL MEKANİK KONGRESİ, 05 - 09 Eylül, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Baki, V. A., NAYIR, S., ERDOĞDU, Ş., & Ustabas, I., (2020). Determination of the Pozzolanic Activities of Trachyte and Rhyolite and Comparison of the Test Methods Implemented. INTERNATIONAL JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING .
- Çelik, V. Ç., Karaşin, H., (2014). Karbon Elyaf İle Betonun Güçlendirilmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, Cilt 5, Sayı 1, sayfa 1-11.
- Dilmaç, H., Ulutaş, H., Tekeli, H., & Demir, F. (2018). An Evaluation on Seismic Performance of Existing Reinforced Concrete Buildings in Turkey. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(Ek (Suppl.) 1), 224-237.
- Dilmaç, H. (2020). Preliminary assessment approach to predict seismic vulnerability of existing low and mid-rise RC buildings. Bulletin of Earthquake Engineering, 1-33. Mechanics, 75(2), 211-227.
- Eid, R., Paultre, P., (2017). Compressive behavior of FRP-confined reinforced concrete columns, Eng. Struct., vol. 132, pp. 518–530.
- Gurbuz, A. Tekin, M., 2017. Developing Damage Estimation Methods for Different Types of Reinforced Concrete Buildings, TEKNİK DERGI , vol.28, pp.8051-8076.
- Hiçyılmaz, Ö , Özçelik, M . (2019). Ankara – Sivas Demiryolu Hızlı Tren Projesi T-5 Tüneli Yapım Çalışmaları . Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi , 7 (2) , 321-329 . DOI: 10.21923/jesd.491825.
- Ilki, A., Kumbasar, N., Koç, V., (2003). Low and medium strength concrete members confined by fiber reinforced polymer jackets, ARI Bull. Istanbul Tech. Univ., vol. 53, no. 1.
- İlki, A., Kumbasar, N., (2002). Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzeme ile Hasarlı Betonarme Elemanların Onarım ve Güçlendirilmesi, İMO Teknik Dergi, s. 2598-2616.
- Ilki, A., Peker, O., Karamuk, O., Demir, C., Kumbasar, N., (2008). FRP Retrofit of Low and Medium Strength Circular and Rectangular Reinforced Concrete Columns. Mater. Civ. Eng., vol. 20, no. 2, pp. 169–188.
- Karaşin, H., Öncü, M., Yılmaz, S., (2010). Cfrp İle Güçlendirilmiş Kesitlerin Tekrarlanan Yükler Altındaki Davranışı. E-Journal of New World Sciences Academy, 5(3), 130613114.
- Kurt, Z., & Ateş, Ş., (2019). Sismik İzolasyonlu Betonarme Bir Köprünün Dinamik Analiz Yöntemlerinin Kesit Tesirlerine Etkisi . 4. Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu.
- Lam, L., Teng, F. G., (2009). Stress-strain model for FRP-confined concrete under cyclic axial compression,” Engineering Structures, 11(2) 308–321.
- Lee, D.H., Han, S.J., Kim, K.S., LaFave, J.M. (2017). Shear strength of reinforced concrete beams strengthened in shear using externally-bonded FRP composites. Composite Structures 173, 177–187.
- Li W., Tang S., Huang Z., Yang X., Shi T., Xing F., (2020) Shear behavior of concrete beam reinforced in shear with carbon fiber reinforced polymer mesh fabric (CFRP-MF) configuration, Engineering Structural, 218, 110828.
- Mert, N., Elmas, M. (2007). Fiber Takviyeli Polimerle Güçlendirilen Betonarme Kirişlerin Doğrusal Olmayan Analizi, Uluslararası Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- Mirmiran, A. Shahawy, M., (1997). Behavior of Concrete Columns Confined by Fiber Composites, J. Struct. Eng., vol. 123, no. 5, pp. 583–590.
- Vincent, T., Ozbakkaloglu, T., (2016). Influence of overlap configuration on compressive behavior of CFRP-confined normal- and high-strength concrete. Mater Struct 49, 1245–1268. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0574-x>.
- Ozbakkaloglu, T., Lim, J. C., (2013). Axial compressive behavior of FRP-confined concrete: Experimental test database and a new design-oriented model,” Compos. Part B Eng., vol. 55, 607–634.
- Sarıbıyık, A., (2017). Betonların Güçlendirilmesinde FRP Kompozitlerin Hibrit Olarak Kullanımının Etkisi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (2), 383-391.
- Seffo, M., Hamcho, M., (2012). Strength of concrete cylinder confined by composite materials (CFRP),” in Energy Procedia, vol. 19, pp. 276–285.
- Stolla, F., Saliba, J. E., Casper, L.E. (2000). Experimental study of CFRP-prestressed high-strength concrete bridge beams. Composite Structures, 49 (2) 191-200.
- Tekeli, H., Dilmaç, H., Demir, F., & Güler, K. (2020). Prediction of Seismic Performance of Existing Framed Reinforced Concrete Buildings. Journal of Performance of Constructed Facilities, 34(3), 04020030.
- TS EN 12390-3, (2003). Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3 :Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Ankara.
- Turgay, T., Polat, Z., Koksall, H. O., Doran, B., Karakoç, C., (2010). Compressive behavior of large-scale square reinforced concrete columns confined with carbon fiber reinforced polymer jackets, Mater. Des., vol. 31, no. 1, pp. 357–364.
- Ustabas, I., (2012). The effect of capillarity on chloride transport and the prediction of the accumulation region of chloride in concretes with reinforcement corrosion, Construction and Building Materials 28 (1), 640-647.
- Ustabas, I., Desik, F., (2020). Transition coefficients between compressive strengths of samples with different shape and size in mass concrete and use of weight maturity method in dam construction. STRUCTURAL CONCRETE .
- Xiao, Y., Wu, H., (2003). Compressive behavior of concrete confined by various types of FRP composite jackets,” J. Reinf. Plast. Compos., vol. 22, no. 13, pp. 1187–1201.
- Yaylacı, M , Bayrak, M , Avcar, M . (2019). Finite Element Modeling of Receding Contact Problem . International Journal of Engineering and Applied Sciences , 11 (4) , 468-475 . DOI: 10.24107/ijeas.646718.

- Yin, P., Huang, L., Yan, L., Zhu, D., (2016). Compressive behavior of concrete confined by CFRP and transverse spiral reinforcement. Part A: experimental study, *Mater. Struct.*, vol. 49, no. 3, pp. 1001– 1011.
- Zhong, Y. Z., Yu, Q., Tao, Z., (2008). Compressive behaviour of CFRP-confined rectangular concrete columns, *Mag. Concr. Res.*, vol. 60, no. 10, pp. 735–745.



A MICROLENS BY GALLIUM DOPED ZINC OXIDE-NANOANTENNA

Ekin ASLAN*, Erdem ASLAN

Department of Electrical and Electronics Engineering, Hatay Mustafa Kemal University, 31060 Hatay, Turkey

Keywords

*Sierpinski Fractal,
Microlens,
Alternative Plasmonics,
Plasmon Talbot Effect.*

Abstract

Alternative plasmonics based fractal microlens are investigated. In this context, lensing performance of gallium-doped zinc oxide Sierpinski carpet-based fractal construction functionalized by conformal Talbot effect is analyzed for communication wavelength 1550 nm. Focusing via diffraction from these 2D finite-sized and two-iterated fractal lattice system is computationally demonstrated. In this regard, focusing performance parameters are computationally examined on the basis of geometrical parameter sweep and fractal generation via finite difference time-domain numerical simulations. Focusing efficiency > 50%, absolute efficiency > 18%, and focal depth larger than primary spot size are introduced by all computational samples. Moreover, a conformal Talbot effect is exhibited by this novel alternative plasmonics construction. A novel perspective based on alternative plasmonics by a newly adapted fractal design to optics is proposed. Thus, this fractal microlens is presented as a new planarized focusing platform, acting a conformal transformation optics device for light capturing tolerance and low-cost.

GALYUM KATKILI ÇİNKO OKSİT NANOANTEN İLE MİKROLENS

Anahtar Kelimeler

*Sierpinski Fraktal,
Mikrolens,
Alternatif Plazmonikler,
Plazmon Talbot Etkisi.*

Öz

Alternatif plazmonik temelli fraktal metalensler araştırılmıştır. Bu bağlamda, 1550 nm iletişim dalga boyu için, konformal Talbot etkisi ile işlevselleştirilmiş galyum katkılı çinko oksit Sierpinski halısı tabanlı fraktal yapının merceklenme performansı analiz edilmiştir. Bu 2D sonlu boyutlu ve iki yinelemeli fraktal kafes sisteminden kırınım yoluyla odaklanma, nümerik olarak gösterilmiştir. Bu bakımdan odaklama performans parametreleri, geometrik parametre taramasına ve fraktal yinelemesine dayanarak zamanda sonlu farklar alanında simülasyonlar aracılığıyla incelenmiştir. Odaklanma verimliliği > 50%, mutlak verimlilik > % 18 ve birincil spot boyutundan daha büyük odak derinliği tüm nümerik numuneler tarafından sunulmuştur. Dahası, bu yeni alternatif plazmonik yapı tarafından konformal Talbot etkisi sergilenmektedir. Optiğe yeni uyarlanmış bir fraktal tasarım ile alternatif plazmoniklere dayanan yeni bir perspektif önerilmiştir. Böylelikle, bu fraktal mikrolens, ışık yakalama toleransı ve düşük maliyet için, konformal dönüşüm optik cihazı olarak hareket eden yeni bir düzlemselleştirilmiş odaklama platformu olarak sunulmuştur.

Alıntı / Cite

Aslan, E., Aslan, E., (2020). A Microlens by Gallium Doped Zinc Oxide-Nanoantenna, Journal of Engineering Sciences and Design, 8(3), 931-942.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Aslan, 0000-0003-0933-7796
E. Aslan, 0000-0001-6829-9000

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	22.08.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	17.09.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Introduction

In metasurface-based flat lenses, the intended optical mechanism can be ensured by spatial differences via aperiodically arranged and subwavelength-scatterers modeling optical wave fronts into required formworks (Minovich et al., 2015). Hence metalenses have presented functionalities for flat screens, integrated optics, mid-

* İlgili yazar / Corresponding author: ekin.aslan@mku.edu.tr

infrared photonics, and flat optical components simplifying fabrication, and improvements such as smaller-size, high performance, and better image quality (Li et al., 2019; Khorasaninejad et al., 2016; Byrnes et al., 2016; Lalanne and Chavel, 2017).

The design and fabrication of optical devices such as plasmonic biosensors (Aslan et al., 2019; Aslan et al., 2017; Aslan et al., 2017; Aslan et al., 2016; Aouani et al., 2013), plasmonic photodetectors (Berini, 2014), ultrafast modulators (MacDonald et al., 2009), and light sources (Liu et al., 2016) both in the infrared (IR) and in the visible spectral regions can find new facilities with the aid of plasmonic scatterers. Especially fractal plasmonics at multiple-scale-dimensions by their scale-invariant construction offer multispectral plasmonic behavior with self-similar resonances (Rosa et al., 2011; Yang et al., 2014; Gottheim et al., 2015). Resonators in fractal form, can also propound a new area for flat lens design. Fractal zone plates are latest lensing ones (Zang et al., 2019; Xia et al., 2019). Those diffractive plates in a characteristic fractal geometry with mm-scale dimensions can ensure lensing. Additionally, a study in literature has proposed a general fractal lattice growth model and significantly extended the scope of fractal application in optics for focusing light (Gao et al., 2018). Ergo, fractal plasmonic metalens designs can be a new class for light focusing.

In this study, a novel focusing concept using alternative plasmonic material instead of metals and fractal resonator geometry for 1550nm-communication wavelength is studied. Sierpinski carpet is a deterministic fractal described by Waclaw Franciszek Sierpiński in 1916 (Mandelbrot, 1982). In literature, it has been numerically shown that a gold nanocarpets arranged as Sierpinski carpet-like geometry feature a controlled broadband response and superfocusing for visible wavelengths (Volpe et al., 2011). Here, a lattice antenna system based on this fractal is proposed as 2D finite-sized fractal scatterers. Gallium-doped zinc oxide (GZO) $\text{ZnO:Ga}_2\text{O}_3$ is chosen as an alternative plasmonic material for nanoantenna formation. For focusing capability, GZO fractal nanoantennas in two iterations are opted. These finite sized resonators are designed on SiN membrane to increase the transmission while structure is illuminated from backward. Finite-difference time-domain (FDTD) method is used for 3D electromagnetic simulations of the structure. We present the geometrical parameter sweeps in a systematic trend and an interpretation for thickness sweep. We calculate metalens performance parameters such as full-width half-maximum (FWHM), efficiency (focusing efficiency η_{foc} and absolute efficiency η_{abs}), depth of focus (DF; focal depth), numerical aperture (NA), and fill-factor (FF) of these sub-wavelength plasmonic fractals. This study on a finite-sized 2D GZO Sierpinski carpet-like fractal-lattice nanoantenna system ensures novel opportunities within the framework of fractal metalenses with alternative plasmonic materials, and besides, exhibits plasmonic Talbot effect (Talbot, 1839) to be yield at the end of the results section.

2. Modeling and Design

Finite-sized 2D GZO lattice nanoantennas in the first two iterations of Sierpinski carpet-like geometry are computationally proposed in this work for the metalens design capable of focusing consonant with the Talbot effect. 3D electromagnetic simulations are performed using FDTD Solutions package. Perfectly match layers are taken for all boundaries during the simulations. Mesh size on the structure is set to 10 nm due to available hardware facilities and uniform mesh setting are used within 3D simulation volume. 100 nm-thick SiN suspended membrane is used to increase transmission under back-illumination by plane wave at 1550 nm-fiber communication wavelength. Schematic of the design is shown in Fig. 1. 1st and 2nd iterations of the Sierpinski carpet-like fractal nanoantenna geometry can be seen from the figure. The geometrical parameters of these iterations are the width of lattice elements W , the length of each lattice cell or element length L , the thickness of nanoantenna t_{GZO} , and the thickness of membrane t_{memb} . The gap distance of lattice is configured as $L - W$. In addition to these, a geometrical parameter analysis has been established as 8 different value-set for two iterations and all computational samples are denoted as Sample# $i.A$, where i and A ($A = 1, 2, \dots, 8$) being iteration number and sample number in the same sector, respectively.

Dielectric function data of GZO from the ellipsometry data of a deposited GZO thin film from the literature are adapted to a Drude-Lorentz oscillator model $\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + i\omega\Gamma_p} + \frac{f_1\omega_1^2}{\omega_1^2 - \omega^2 - i\omega\Gamma_1}$ (Kim et al., 2013). Here, while the second term stands for Drude model, the third one represents Lorentz oscillator. The symbols in this equation express the background permittivity ϵ_∞ , the unscreened plasma frequency ω_p , the carrier relaxation rate Γ_p , and the strength, the center frequency, and the damping of the Lorentz oscillator f_1 , ω_1 , and Γ_1 respectively (Naik et al., 2013). Thus, the optical properties of GZO are taken as $\epsilon_\infty = 2.475$, $\omega_p = 1.927$ eV, $\Gamma_p = 0.117$ eV, $f_1 = 0.866$, $\omega_1 = 4.850$ eV, and $\Gamma_1 = 0.029$ eV (Kim et al., 2013). In order to determine lensing capability combined with Talbot effect, surface plasmon wavelength of GZO in air at 1550 nm-operating wavelength is calculated via surface plasmon wavelength λ_{SP} equation given by $\lambda_{SP} = \lambda_0 / \text{Re}\left\{\sqrt{\frac{\epsilon_m \epsilon_d}{\epsilon_m + \epsilon_d}}\right\}$, where ϵ_m and ϵ_d being dielectric function of the metal forming the structure and the environmental dielectric function of its environment, respectively (Barnes,

2006; Dennis et al., 2007). At $\lambda_0 = 1550$ nm, $\epsilon_d = 1$ for air and $\epsilon_m = \epsilon'_m + i\epsilon''_m = -2.2433 + i1.0251$ from the fitted GZO data are used and λ_{SP} at λ_0 is calculated as 1264 nm. Refractive index of SiN is taken as 1.876 at 1550 nm (Vogt, 2015), which is used for suspended membrane. The corresponding structures are illuminated in the opposite z -direction under the x -polarization. Geometrical sweeps are supplied by taking L and W as multiples of $\lambda_{SP}/4$ and maximum z -value of GZO-layer is the thickness t_{GZO} in all simulations.

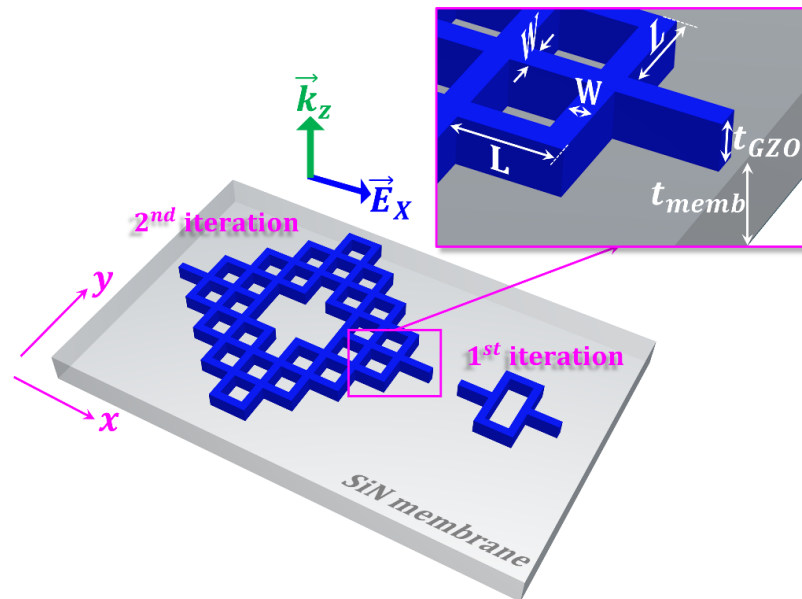


Figure 1. Schematic view of GZO-based Sierpinski Carpet nanoantenna designs at 1st and 2nd iterations.

3. Result and Discussion

In order to view geometrical parameter effects, a set of L and W analyses for each iteration is performed in a systematically manner. Additionally, an interpretation of t_{GZO} sweep for a specific iteration is given. Focusing performance of GZO-based Sierpinski carpet-like lattice at 1st and 2nd iterations is examined. The area with the normalized E -field intensity to the source intensity $|E|^2/|E_{in}|^2$ concentration and the center of this area are evaluated as focal spot and focal point, respectively. Since there will be multiple central focus, farthest focus point is indexed to be the priority and a focal length is expressed as f_k ($k = 1, 2, 3, 4, \dots$). f_1 always represents the primary or the first order focal length. The focal lengths are calculated as $f_k = z_k - t_{GZO}$, where z_k being the corresponding focal point. First of all, the effect of t_{GZO} variation on focal length-intensity balance of 1st iterated nanostructure with $L = \lambda_{SP}/2$ and $W = \lambda_{SP}/4$ is examined as shown in Fig. 2. As seen from this figure, primary focal spot attenuates while increasing t_{GZO} . According to the data taken from the monitor M_z , at the focal points $z_1 = 3061$ nm, 3113 nm, 3153 nm, and 4037 nm for $t_{GZO} = 100$ nm, 150 nm, 200 nm, and 300 nm, respectively normalized intensities are 2.98, 2.33, 2.07, and 1.73. Here, the monitor arrangement given in Fig. 3a is exploited. For both iterations, the optimum thickness value is defined as $t_{GZO} = 50$ nm and results here are mostly presented for $t_{GZO} = 50$ nm over the primary focal point.

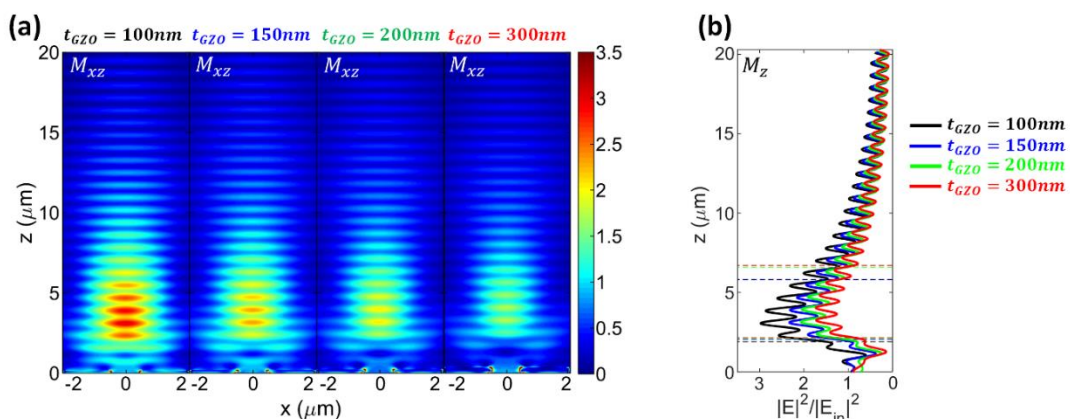


Figure 2. (a) Normalized intensity distribution maps on vertical monitor M_{xz} for the numerical sample with $L = \lambda_{SP}/2$ and $W = \lambda_{SP}/4$, each inner block from left to right stands for a different t_{GZO} value. (b) Normalized intensity curves of this sample on M_z for different t_{GZO} .

Starting from 1st iteration design, a systematic geometrical parameter-sweep is achieved. Accordingly, theoretical performance parameters of the fractal nanoantenna system at the desired optical frequency are assigned: FWHM spot size, the efficiency η , DF, NA, and FF (Yu and Capasso, 2014; Zhang et al., 2016; Gao et al., 2010; Tanriover and Demir, 2019; Aieta et al., 2012; Arbabi et al., 2015). FWHM spot size, the distance between two locations at which two intensity values are half of the maximum intensity value on related axes, is taken into account as focal spots during these calculations. Along- x -line and along- y -line monitors, M_x and M_y , respectively (Figs. 3a and 4a) are utilized to assign FWHM spot size of primary focal spots. Second performance parameter, efficiency is defined by two ways in the literature: the focusing efficiency η_{foc} is the ratio of the total light intensity at the focal spot to the total transmitted light and the absolute efficiency η_{abs} is the ratio of the total light intensity at the focal spot to the incident light intensity (Tanriover and Demir, 2019; Aieta et al., 2012; Arbabi et al., 2015). Here, η_{foc} and η_{abs} are calculated by using focal plane monitor M_{xy} (Figs. 3a and 4a). The other parameter, DF is the area tolerance in front of the lens in an acceptable focusing and taken as full-width half-maximum value (Gao et al., 2010) of the data from M_z (3(a) and 4(a)) along z -axis, FWHM $_z$. Additionally, NA which is a number that states the ability of a lens to resolve fine details in an observed object and derived from the mathematical formula $NA = n \sin \theta$. Here, n is the refractive index of the medium between the lens and the focal plane and θ is the angular aperture of the lens. After all, FF is also a significant parameter for microlenses in specially imaging applications. It is the fraction of microlens's active refracting area directing light to a destination to total contiguous area occupied by the microlens (Aieta et al., 2012). The active area (AA) and occupied area (OA) for this finite-sized design are the total area of the nanorings and the area with the largest nanoring's bigger diameters, respectively.

The first stage of iterative presentation is $i = 1$ for the proposed fractal structure. Finite-sized 2D metalens based on 1st iterated-GZO nanolattice with 50 nm-thickness is first examined at 1550 nm-operating wavelength, as in Fig. 3. Fig. 3a illustrates the schematic view of all used field monitors: xz -vertical, yz -vertical, xy -horizontal, along- x -line, along- y -line, and along- z -line monitors; M_{xz} , M_{yz} , M_{xy} , M_x , M_y , and M_z , respectively. Table 1 yields the analyzed performance parameter set for the computational samples Sample#1.A. The geometrical parameters L and W are variables here. While diffraction pattern of 1st iterated samples can be clearly observed through the xz -vertical and yz -vertical monitors (Fig. 3b,c,e,f), primary focal spot size can be seen through the xy -horizontal on the focal plane (Fig. 3h). Furthermore, along- z -line monitor M_z illustrates normalized E -field intensity values in the center of the system along illumination direction and DF (Fig. 3d,g). These graphs provide the determination of focal point, focal E -field intensity, FWHM spot size and DF values in Table 1. In order to define FWHM values along x - and y -axes, FWHM $_x$ and FWHM $_y$, respectively can also be seen from Fig. 3i where each block stands for a sample for 1st generation nanoantenna. Elliptical spot in Fig. 2f that can be represented by a circular area are used during determination of spot areas. Hence FWHM spot size is calculated by the geometric means of FWHM $_x$ and FWHM $_y$ (Li et al., 2017). FWHM $_x$ and FWHM $_y$ values for $i = 1$ are given in Table 2. Computational efficiencies obtained as a result of parameter changes in Table 1 are $\eta_{foc} > 50\%$ and $\eta_{abs} > 20\%$. AA and OA parameters of the design with $i = 1$ used for calculation of FF in Table 1 are also given Table 2. From top to bottom for the samples with different L and fixed W , mostly increasing focal length and decreasing NA can be observed. On the other hand, for the samples with fixed L and different W , it is noteworthy that the efficiencies decrease. These all can be attributed to total structure width versus focal length as well as diffraction of far-fields, coupling of SPPs, and interference of near-fields (Li et al., 2011). Additionally, non-primary focal points z_k ($k = 2,3$) and their normalized intensities for $i = 1$ are given in Table 3.

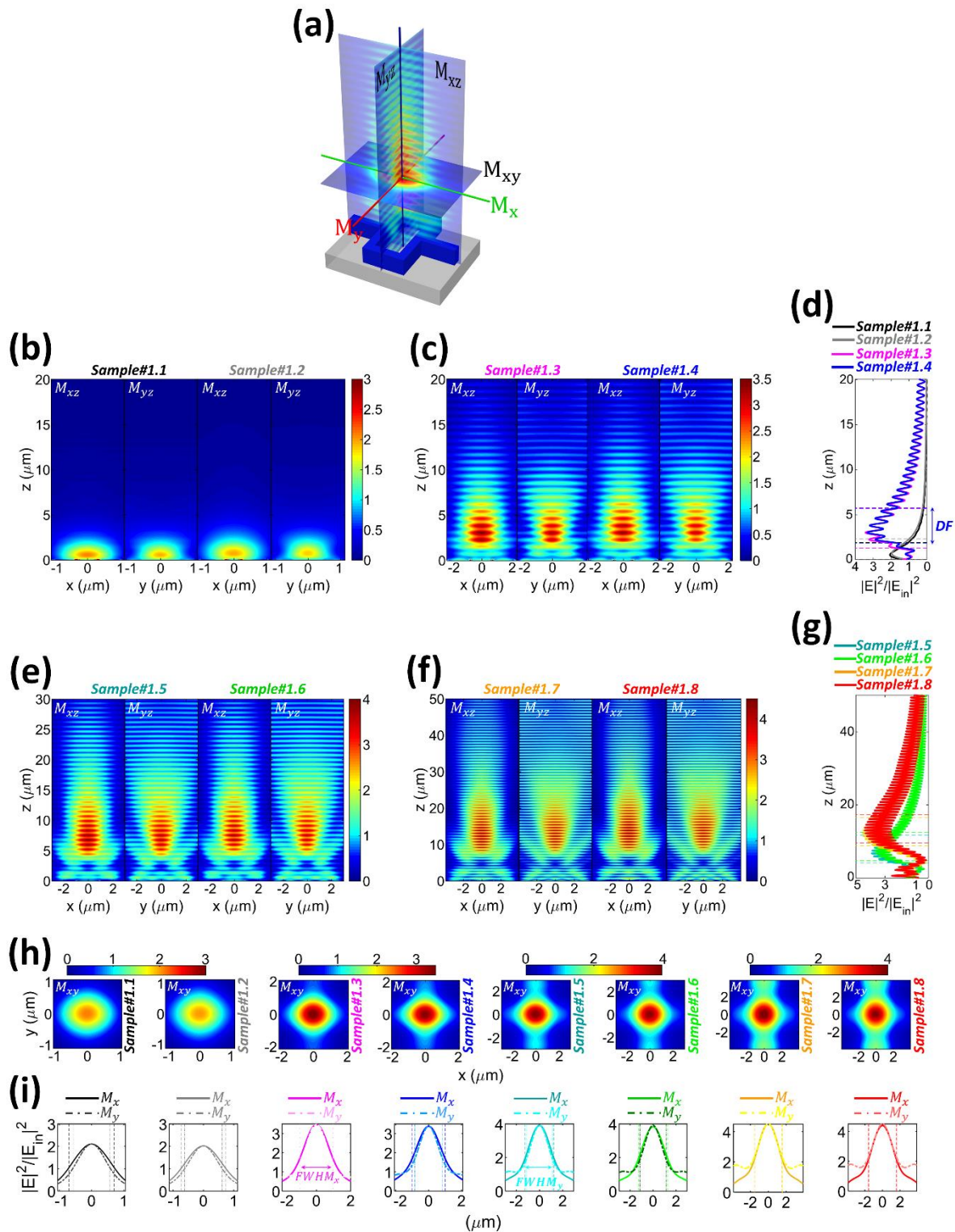


Figure 3. (a) The schematic view of monitor placement for 1st iteration-fractal nanoantenna ($t_{GZO} = 50$ nm). (b,c,e,f) Normalized intensity distribution maps on vertical monitors M_{xz} and M_{yz} each left-inner block-pair and each right-inner block-pair within a panel stand for a specific sample. (d,g) Normalized intensity curves on M_z (h) Focal intensity distributions on horizontal monitor M_{xy} and (i) normalized intensity curves on M_x and M_y .

Table 1. Geometrical parameter-sweep-table for 1st iteration nanoantenna with $t_{GZO} = 50$ nm. The first order focal lengths f_1 , their maximum normalized intensity, FWHM, η_{foc} , η_{abs} , NA, FF and DF.

1st iteration, $t_{GZO} = 50$ nm										
	L	W	f_1 (nm)	$ E ^2/ E_{in} ^2$	FWHM spot size (λ_0)	η_{foc} (%)	η_{abs} (%)	NA	FF	DF (λ_0)
Sample-	$\lambda_{SP}/2$	$\lambda_{SP}/8$	483	2.065	0.81	56.32	32.78	0.9	0.60	1.1984
Sample-	$\lambda_{SP}/2$	$\lambda_{SP}/4$	650	1.957	0.87	54.80	32.04	0.9	0.84	1.4695
Sample-	λ_{SP}	$\lambda_{SP}/8$	2950	3.432	1.23	55.96	28.82	0.8	0.47	2.8252
Sample-	λ_{SP}	$\lambda_{SP}/4$	2963	3.33	1.19	55.35	24.58	0.8	0.71	2.5172
Sample-	$3\lambda_{SP}/2$	$\lambda_{SP}/8$	6663	3.909	1.51	60.09	23.53	0.6	0.38	4.9608
Sample-	$3\lambda_{SP}/2$	$\lambda_{SP}/4$	7650	3.663	1.55	58.92	23.15	0.6	0.60	5.0351
Sample-	$2\lambda_{SP}$	$\lambda_{SP}/8$	12150	4.516	2.01	60.31	23.97	0.5	0.28	4.9866
Sample-	$2\lambda_{SP}$	$\lambda_{SP}/4$	12950	4.393	2.06	59.30	23.59	0.5	0.47	4.9899

Table 2. FWHM_x, FWHM_y, OA, and AA list for the geometrical parameter-sweep-table of 1st iteration nanoantenna with $t_{GZO} = 50$ nm at primary focal spot.

	FWHM _x (nm)	FWHM _y (nm)	OA (nm ²)	AA (nm ²)
Sample-1.1	1400	1119	1323092	798848
Sample-1.2	1478	1232	1897264	1597696
Sample-1.3	1904	1902	2571292	1198272
Sample-1.4	2008	1680	3395104	2396544
Sample-1.5	2483	2210	4218916	1597696
Sample-1.6	2552	2259	5292368	3195392
Sample-1.7	3030	3189	8712436	2396544
Sample-1.8	3104	3282	10285168	4793088

Table 3. Geometrical parameter-sweep-table of 1st iteration with $t_{GZO} = 50$ nm for non-primary focal points z_k ($k = 2,3$) and their normalized intensities.

	z_2 (nm)	$ E ^2/ E_{in} ^2$	z_3 (nm)	$ E ^2/ E_{in} ^2$
Sample-1.1	-	-	-	-
Sample-1.2	-	-	-	-
Sample-1.3	-	-	-	-
Sample-1.4	-	-	-	-
Sample-1.5	1257	1.387		
Sample-1.6	1287	1.508	-	-
Sample-1.7	2175	2.172	592	2.093
Sample-1.8	2185	2.286	598	2.511

As the next stage in systematic representation, theoretical performance parameters of 2nd iterated structure are determined as in Table 4. Herein, monitor arrangement in Fig. 4a is used for the calculation of these parameters. M_{xz} and M_{yz} (Fig. 4b,c,e,f) indicates that primary focal spots become distant due to bigger nanoantenna dimension together with bigger spot size and DF. While increasing W within the sample pairs with same L , focal intensities get lower (Table 4). It is also expected FF to get smaller due to OA and AA values of this 2nd iterated nanoantenna. FWHM spot size defined via FWHM_x and FWHM_y from M_{xy} (Fig. 4h), M_x , and M_y (Fig. 4i) take value as larger multiple of λ_0 . Bigger spot size, smaller NA, and higher efficiencies are expected versus increasing lattice behavior (Arbabi et al., 2015). This can be associated with diffraction of far-fields, coupling of SPPs, and interference of near-fields (Li et al., 2011). But Talbot effect mechanism is also especially affected on efficiencies due to L value. This situation is explained below. Even so, Sample#2.A ($A = 1,2,\dots,8$) exhibits $\eta_{foc} > 50\%$ and $\eta_{abs} > 18\%$ for the parameter-sweep set in Table 4. In addition, auxiliary parameters and non-primary focal points for 2nd iterated nanoantenna are given in Table 5 and Table 6, respectively.

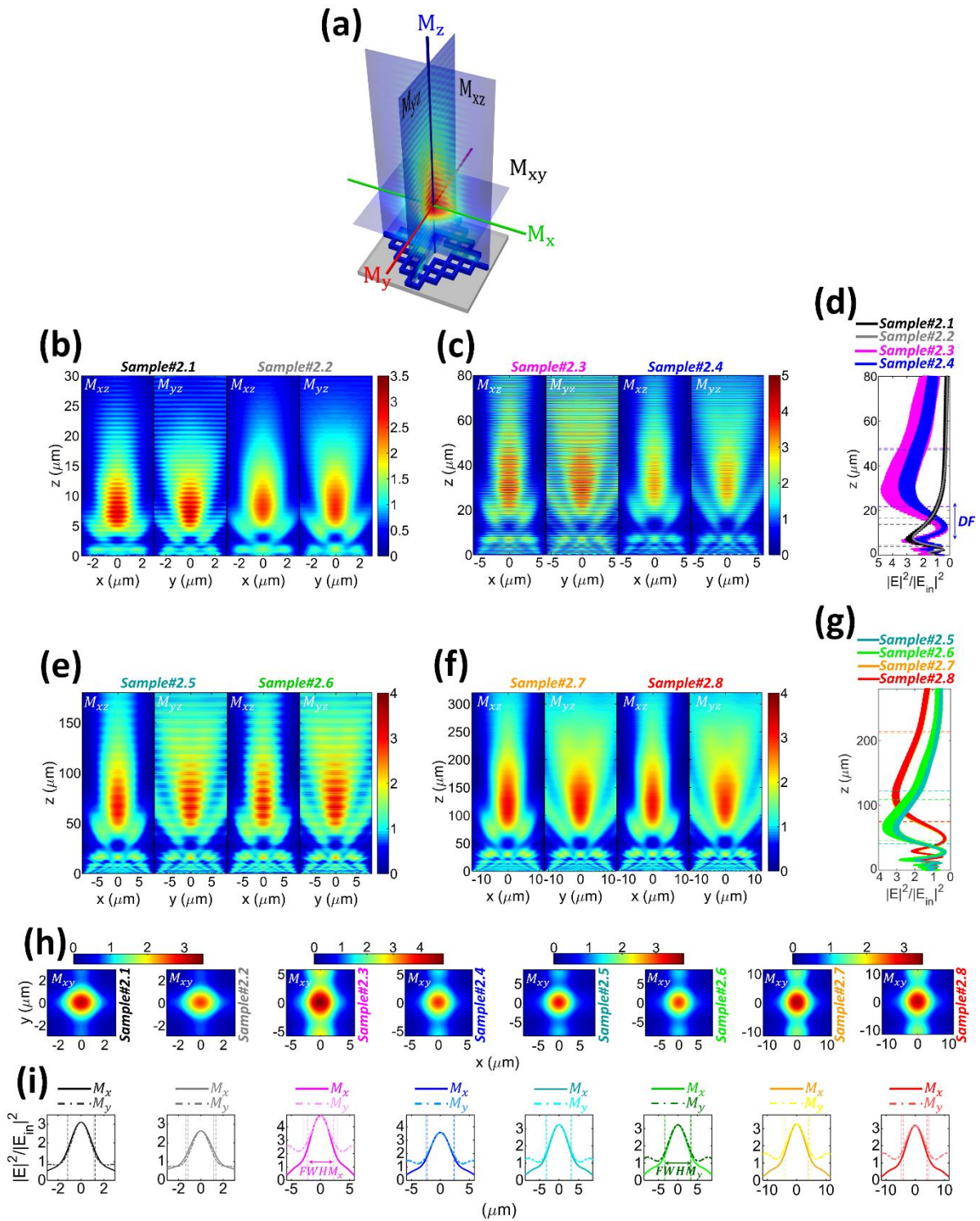


Figure 4. (a) The schematic view of monitor placement for 2nd iteration-fractal nanoantenna ($t_{GZO} = 50$ nm). (b,c,e,f) Normalized intensity distribution maps on vertical monitors M_{xz} and M_{yz} each left-inner block-pair and each right-inner block-pair within a panel stand for a specific sample. (d,g) Normalized intensity curves on M_z (h) Focal intensity distributions on horizontal monitor M_{xy} and (i) normalized intensity curves on M_x and M_y .

Table 4. Geometrical parameter-sweep-table for 2nd iteration nanoantenna with $t_{GZO} = 50$ nm. The first order focal points f_1 , their maximum normalized intensity, FWHM, η_{foc} , η_{abs} , NA, FF and DF.

2 nd iteration, $t_{GZO} = 50$ nm										
	L	W	f_1 (nm)	$ E ^2 / E_{in} ^2$	FWHM spot size (λ_0)	η_{foc} (%)	η_{abs} (%)	NA	FF	DF (λ_0)
Sample-	$\lambda_{SP}/2$	$\lambda_{SP}/8$	7212	3.11	1.52	52.43	20.80	0.9	0.45	6.3480
Sample-	$\lambda_{SP}/2$	$\lambda_{SP}/4$	7682	2.595	1.61	51.32	20.02	0.9	0.74	7.8976
Sample-	λ_{SP}	$\lambda_{SP}/8$	29030	4.833	3.28	64.66	27.25	0.6	0.25	16.810
Sample-	λ_{SP}	$\lambda_{SP}/4$	31186	3.578	3.08	54.57	21.36	0.6	0.45	16.454
Sample-	$3\lambda_{SP}/2$	$\lambda_{SP}/8$	64580	3.198	4.12	55.06	19.09	0.3	0.18	52.329
Sample-	$3\lambda_{SP}/2$	$\lambda_{SP}/4$	66310	3.795	4.23	56.87	19.70	0.3	0.33	40.889
Sample-	$2\lambda_{SP}$	$\lambda_{SP}/8$	11326	3.272	5.50	55.38	19.04	0.2	0.13	88.675
Sample-	$2\lambda_{SP}$	$\lambda_{SP}/4$	11634	3.251	5.60	54.63	18.99	0.1	0.25	89.625

Table 5. FWHM_x, FWHM_y, OA, and AA list for the geometrical parameter-sweep-table of 2nd iteration nanoantenna with $t_{GZO} = 50$ nm at primary focal spot.

	FWHM _x (nm)	FWHM _y (nm)	OA (nm ²)	AA (nm ²)
Sample-2.1	2474	2255	14504084	6590496
Sample-2.2	2686	2330	16276528	11982720
Sample-2.3	4421	5843	54546340	13780128
Sample-2.4	4589	4950	58016336	26361984
Sample-2.5	6163	6605	12015173	20969760
Sample-2.6	6331	6784	12531928	40741248
Sample-2.7	7825	9276	21132026	28159392
Sample-2.8	7906	9543	21818536	55120512

Table 6. Geometrical parameter-sweep-table of 2nd iteration with $t_{GZO} = 50$ nm for non-primary focal points z_k ($k = 2,3,4,5$) and their normalized intensities.

	z_2 (nm)	$ E ^2 / E_{in} ^2$	z_3 (nm)	$ E ^2 / E_{in} ^2$	z_4 (nm)	$ E ^2 / E_{in} ^2$	z_5 (nm)	$ E ^2 / E_{in} ^2$
Sample-2.1	1052	1.435	-	-	-	-	-	-
Sample-2.2	992	1.503	-	-	-	-	-	-
Sample-2.3	6698	3.37	2820	2.702	-	-	-	-
Sample-2.4	6526	2.576	2656	2.054	-	-	-	-
Sample-2.5	16000	2.057	8264	1.454	4386	1.225	-	-
Sample-2.6	16204	2.884	7716	2.07	4610	1.808	-	-
Sample-2.7	29220	2.105	15335	1.667	9920	1.413	6082	1.419
Sample-2.8	29226	2.203	15344	1.692	9932	1.611	6090	1.52

Computational and experimental microlens studies (Khorasaninejad et al., 2016; Aieta et al., 2012; Arbabi et al., 2016) are available in the literature for $\lambda_0 = 1550$ nm operation wavelength. By taking account of them, the work (Khorasaninejad et al., 2016) based on aperiodic arrangement of coupled α -Si rectangular resonators on a fused silica substrate proposes η_{abs} of 10% with FWHM spot size of $18.7\lambda_0$ and NA of 0.04. In that work, η_{abs} has been defined as the amount of power in the beam waist at the focal line, divided by the input power. The other one (Arbabi et al., 2016) composed of silicon nano-posts on glass has presented experimental results as η_{foc} of 65% with FWHM spot size of $1.77\lambda_0$ and NA of 0.46 while the one (Aieta et al., 2012) based on V-shaped gold nano-resonators on a silicon substrate has reported η_{foc} of 1% with FWHM spot size of $33\lambda_0$ and NA of 0.05. Present microlens studies based on plasmonic Talbot effect in the literature are employed for different operating wavelengths. One of them (Li et al., 2011) has presented a nanolens for 248 nm operating wavelength, composed of silver nanorings as the theoretical three-dimensional (3D) plasmon Talbot-effect study and examined a plasmon Talbot effect spanning from the near field to the far field. Then, Gao et al. (2010) have experimentally considered three patches of circular nanoholes on gold film for $\lambda_0 = 500, 545, 670,$ and 780 nm. Moreover, Wang et al (2013) have computationally investigated the Ag, Au-, and Al-based nanolenses for various immersion media

such as air, SiO₂, Al₂O₃, and H₂O at wavelengths of 248, 365, and 442 nm. But they did not observe the Talbot effect and associated it with finite-size of the nanohole arrays. In our study, a fractal metalens system with first two iterations and alternative plasmonic material is investigated at 1550 nm-communication wavelength for the first time. A microlens with a larger NA can visualize finer however it ensures less efficiency and shallow depth of field. $\eta_{foc} > 50\%$ and $\eta_{abs} > 18\%$ are introduced by the computational samples in this study which represent a new alternative plasmonic approach to fractal lensing device with 50 nm-thick-GZO nanolattice resonators. Additionally, $DF > FWHM$ is obtained for all computational samples and an appropriate geometrical parameter set can be consulted for desired focal behavior.

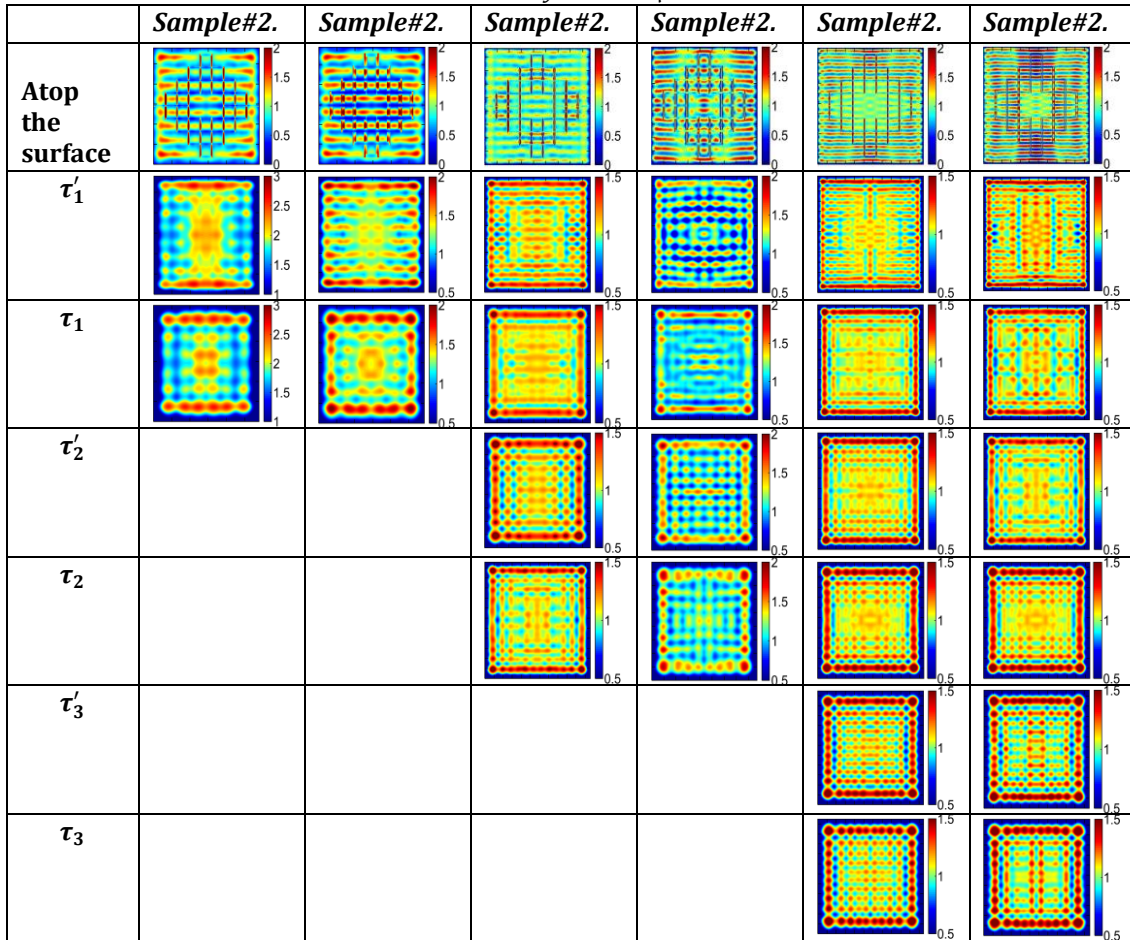
Table 7. Simulated integral Talbot positions τ_m , fractional Talbot positions τ'_m , and calculated Talbot distances τ_{cal} for Sample#2.3, Sample#2.4, Sample#2.5, Sample#2.6, Sample#2.7, and Sample#2.8.

2nd iteration,	τ'_1	τ_1	τ'_2	τ_2	τ'_3	τ_3	τ_{cal} (non-paraxial)	τ_{cal} (paraxial)
Sample-2.3	518	1271	-	-	-	-	1264 nm	2528 nm
Sample-2.4	398	1086	-	-	-	-	1264 nm	2528 nm
Sample-2.5	574	1344	2120	2876 nm	-	-	4964 nm	5688 nm
Sample-2.6	760	1532	2312	3062 nm	-	-	4964 nm	5688 nm
Sample-2.7	664	1466	2180	3028 nm	3746	4512	9434 nm	10112 nm
Sample-2.8	680	1486	2166	3116 nm	3755	4508	9434 nm	10112 nm

Talbot effect discovered in 1836 (Talbot, 1836) and explained by Rayleigh (1881) one of the focusing contraction in metalens constructions. This situation can be predicated on far-field diffraction, SPP coupling, and near-field interference (Li et al., 2011). As mentioned above, the prominence of the Talbot effect can also relatively reduce the efficiency of the primary focus for Sample#2.3, Sample#2.4, Sample#2.5, Sample#2.6, Sample#2.7, and Sample#2.8. According to Talbot phenomenon, scattering optical fields can exactly copy the pattern of a periodic structure at multiple distances, under illumination by a monochromatic plane wave (Talbot, 1836; Dennis et al., 2017; Li et al., 2017; Rayleigh, 1881; Mehdi et al., 2018a; Mehdi et al., 2018b; Wen et al., 2013). In ordinary Talbot effect, Talbot revivals are generated at the distance named as Talbot distance τ for each copied device pattern (Talbot, 1836; Dennis et al., 2007; Li et al., 2017; Rayleigh, 1881; Mehdi et al., 2018a; Mehdi et al., 2018b; Wen et al., 2013). The theoretical Talbot distance can be defined as $\tau = \frac{\lambda_e}{1 - \sqrt{1 - (\lambda_e/p)^2}}$ in the literature (Li et al., 2019) when

array period of the structure is between λ_e and $2\lambda_e$. Here, λ_e is the effective operating wavelength calculated by λ/n for a periodic array with being n the refractive index of the medium and p the array period. τ becomes equal to $2p^2/\lambda_e$ with paraxial approach. Periodic metallic nanostructural arrays exhibit a complex coupling behavior between localized surface plasmon resonance (LSPR), Bloch wave surface plasmon polaritons (BW-SPPs) and Wood anomalies especially at optical frequencies due to their arrangements (Yu et al., 2013). Thus, a focusing fact related with a plasmonic Talbot effect observed under paraxial (Mehdi et al., 2018a) or non-paraxial (Mehdi et al., 2018b) conditions. Accordingly, non-paraxial and paraxial formulas between surface plasmon wavelength λ_{SP} and Talbot distance can be given as $\tau = \frac{\lambda_{SP}}{1 - \sqrt{1 - (\lambda_{SP}/p)^2}}$ and $2p^2/\lambda_{SP}$, respectively. However, some works showed lateral

periodicity not to be necessary for Talbot revivals, and finite-sized 2D devices could exhibit Talbot self-imaging (Gao et al., 2010; Li et al., 2011; Wang et al., 2013; Yu et al., 2013). There can be some differences in light patterns of the devices under non-paraxial Talbot conditions beyond the paraxial limit. Herefrom, exact self-images with positions smaller than paraxial Talbot distances (Hua et al., 2012) can exist under the condition $1 \leq p/\lambda_{SP} < 2$. Hereof, a periodic groove-study on an Au film illustrates a non-paraxial plasmonic Talbot effect (Zhang et al., 2009). Here $p = L$ and the condition $1 \leq p/\lambda_{SP} < 2$ is satisfied by Sample#2.3, Sample#2.4, Sample#2.5, Sample#2.6, Sample#2.7, and Sample#2.8. In this context, Talbot revivals are observed at specific Talbot distances, the Talbot revivals at integral Talbot positions τ_m and fractional revivals at fractional Talbot positions τ'_m . These positions and simulated Talbot distances of these samples are given in Table 7. Integral Talbot position τ is smaller than calculated paraxial Talbot distances τ_{cal} for both paraxial and non-paraxial approximations. Table 8, showing that Talbot clarity increases, yields intensity maps atop the structure surface and at τ_m and τ'_m for Sample#2.3, Sample#2.4, Sample#2.5, Sample#2.6, Sample#2.7, and Sample#2.8.

Table 8. Normalized intensity distributions at Talbot distances τ_m and fractional Talbot distances τ'_m . The period of the ticks on x- and y-axes is 2 μm .

4. Conclusion

Consequently, a preliminary simulation study is handled for lensing by diffraction from Sierpinski carpet-based fractal lattice with alternative plasmonic material at communication wavelength. These finite-sized 2D designs have been investigated at 1st and 2nd iterations for various lattice length and lattice multiples of plasmon wavelength. Focusing performance parameters of this nanolattice system are evaluated in the air environment in detail via the 3D FDTD numerical simulation method. A conformal Talbot effect unlike ordinary Talbot effect yields an interesting focusing performance due to 2D finite-size, the periodicity, and fractal generation of the design. Additionally, diffraction-limited Talbot revivals are monitored in this conformal system since a diffraction-related fact, Talbot effect is can only be hold for a short distance due to the boundary effect. Thus, both plasmon Talbot effect and focusing behavior can be observed at the communication wavelength $\lambda_0 = 1550$ nm. According to simulation results, $\eta_{foc} > 50\%$ and $\eta_{abs} > 18\%$ have been introduced by all computational samples. It is observed both iteration increment for same geometrical parameters and geometrical parameter increment for same iteration provide longer focal length, larger focal depth than focal length, larger FWHM spot size, and smaller NA. NA values from 0.19 up to 0.97 and FWHM spot sizes from $0.81\lambda_0$ up to $5.6\lambda_0$ are proposed via this alternative plasmonic design. As a result, primary focal spots have low-cost and light capturing tolerance capturing tolerance, and narrower spot size through non-primary focal spots obtained on the sub-scales. Furthermore, this design with GZO material also ensures the conformal plasmon Talbot effect and focusing at 1550 nm-communication wavelength due to 2D finite-sized construction. Thus, a new nano-structured alternative plasmonic microlens design has been proposed as a planarized conformal transformation optics device.

Acknowledgement

The work described in this paper is supported by the Scientific Research Projects Coordination Center of Hatay Mustafa Kemal University (Project ID: 20.M.036).

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Aieta, F., Genevet, P., Kats, M. A., Yu, N., Blanchard, R., Gaburro, Z., Capasso, F., 2012. Aberration-Free Ultrathin Flat Lenses and Axicons at Telecom Wavelengths Based on Plasmonic Metasurfaces. *Nano Letters*, 12, 9, 4932-4936.
- Arbabi, E., Arbabi, A., Kamali, S., Horie, Y., Faraon, A., 2016. Multiwavelength polarization-insensitive lenses based on dielectric metasurfaces with meta-molecules. *Optica*, 3, 628-633.
- Arbabi, A., Horie, Y., Ball, A. J., Bagheri, M., Faraon, A., 2015. Subwavelength-thick lenses with high numerical apertures and large efficiency based on high-contrast transmitarrays. *Nature Communications*, 6, 7069.
- Aouani, H., Rahmani, M., Torres, V., Hegnerova, K., Beruete, M., Homola, J., Hong, M., Navarro-Cía, M., Maier, S. A., 2013. Plasmonic Nanoantennas for Multispectral Surface-Enhanced Spectroscopies. *The Journal of Physical Chemistry C*, 117, 18620-18626.
- Aslan, E., Aslan, E., Saracoglu, O. G., Turkmen, M., 2019. An effective triple-band enhanced-infrared-absorption detection by honeycomb-shaped metamaterial-plasmonic absorber. *Sensors and Actuators A: Physical*, 288, 149-155.
- Aslan, E., Aslan, E., Turkmen, M., Saracoglu, O. G., 2017. Metamaterial plasmonic absorber for reducing the spectral shift between near- and far-field responses in surface-enhanced spectroscopy applications. *Sensors and Actuators A: Physical*, 267, 60-69.
- Aslan, E., Aslan, E., Wang, R., Hong, M.K., Erramilli, S., Turkmen, M., Saracoglu, O.G., Dal Negro, L., 2016. Multispectral Cesaro-Type Fractal Plasmonic Nanoantennas. *ACS Photonics*, 3, 11, 2102-2111.
- Aslan, E., Kaya, S., Aslan, E., Korkmaz, S., Saracoglu, O. G., Turkmen, M., 2017. Polarization insensitive plasmonic perfect absorber with coupled antisymmetric nanorod array. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 243, 617-625.
- Barnes, W. L., 2006. Surface plasmon-polariton length scales: a route to sub-wavelength optics. *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, 8, S87-S93.
- Berini, P., 2014. Surface plasmon photodetectors and their applications. *Laser & Photonics Reviews*, 8, 197-220.
- Byrnes, S., Lenef, A., Aieta, F., Capasso, F., 2016. Designing large, high-efficiency, high-numerical-aperture, transmissive meta-lenses for visible light. *Optics Express*, 24, 5110-5124.
- Dennis, M., Zheludev, N., Javier García de Abajo, F., 2007. The plasmon Talbot effect. *Optics Express*, 15, 9692-9700.
- Gao, H., Hyun, J. K., Lee, M. H., Yang, J.-C., Lauhon, L. J., Odom, T. W., 2010. Broadband Plasmonic Microlenses Based on Patches of Nanoholes. *Nano Letters*, 10, 4111-4116.
- Gao, X.-Z., Pan, Y., Zhao, M.-D., Zhang, G.-L., Zhang, Y., Tu, C., Li, Y., Wang, H.-T., 2018. Focusing behavior of the fractal vector optical fields designed by fractal lattice growth model. *Optics Express*, 26, 1597-1614.
- Gottheim, S., Zhang, H., Govorov, A. O., Halas, N. J., 2015. Fractal Nanoparticle Plasmonics: The Cayley Tree. *ACS Nano*, 9, 3284-3292.
- Hua, Y., Suh, J., Zhou, W., Huntington, M., Odom, T., 2012. Talbot effect beyond the paraxial limit at optical frequencies. *Optics Express*, 20, 14284-14291.
- Khorasaninejad, M., Chen, W.T., Devlin, R.C., Oh, J., Zhu, A.Y., Capasso, F., 2016. Metalenses at visible wavelengths: Diffraction-limited focusing and subwavelength resolution imaging. *Science*, 352, 1190-1194.
- Kim, Jo., Naik, G. V., Emani, N. K., Guler, U., Boltasseva, A., 2013. Plasmonic Resonances in Nanostructured Transparent Conducting Oxide Films. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 19, 4601907.
- Lalanne, P., Chavel, P., 2017. Metalenses at visible wavelengths: past, present, perspectives. *Laser & Photonics Reviews*, 11, 1600295.
- Li, B., Piyawattanametha, W., Qiu, Z., 2019. Metalens-Based Miniaturized Optical Systems. *Micromachines*, 10, 310.
- Li, L., Fu, Y., Wu, H., Zheng, L., Zhang, H., Lu, Z., Sun, Q., Yu, W., 2011. The Talbot effect of plasmonic nanolenses. *Optics Express*, 19, 19365-19373.
- Li, W., Li, H., Gao, B., Yu, Y., 2017. Investigation on the plasmon Talbot effect of finite-sized periodic arrays of metallic nanoapertures. *Scientific Reports*, 7, 45573.
- Liu, K., Li, N., Sadana, D. K., Sorger, V. J., 2016. Integrated Nanocavity Plasmon Light Sources for On-Chip Optical Interconnects. *ACS Photonics*, 3, 233-242.
- MacDonald, K. F., Samson, Z. L., Stockman, M. I., Zheludev, N.I., 2009. Ultrafast active plasmonics. *Nature Photonics*, 3, 55-58.
- Mandelbrot, B.B., 1982. *The Fractal Geometry of Nature*, W. H. Freeman and Company.
- Mehdi, A.-B., Luo, X.-P., Li, C.-B., Feng, S., Dong, M., Zhu, L.-Q., 2018a. The Observation of Plasmonic Talbot Effect at Non-Illumination Side of Groove Arrays. *Plasmonics*, 13, 2387-2394.
- Mehdi, A.-B., Lou, X.-P., Dong, M.-L., Li, C.-B., Feng, S., Saviz, P., Zhu, L.-Q., 2018b. Geometrical condition for observing Talbot effect in plasmonics infinite metallic groove arrays. *Chinese Physics B*, 27, 124204.
- Minovich, A. E., Miroschnichenko, A.E., Bykov, A.Y., Murzina, T.V., Neshev, D.N., Kivshar, Y.S., 2015. Functional and nonlinear optical metasurfaces. *Laser & Photonics Reviews*, 9, 195-213.
- Naik, G. V., Shalae, V. M., Boltasseva, A., 2013. Alternative Plasmonic Materials: Beyond Gold and Silver. *Advanced Materials*, 2013, 25, 3264-3294.
- Rayleigh, L., 1881. XXV. On copying diffraction-gratings, and on some phenomena connected therewith, *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 11(67), 196-205.
- Rosa, L., Sun, K., Juodkakis, S., 2011. Sierpin'ski fractal plasmonic nanoantennas. *Physica Status Solidi RRL*, 5-6, 175-177.
- Talbot, H.F., 1836. LXXVI. Facts relating to optical science. No. IV, *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 9(56), 401-407.
- Tanriover, I., Demir, H. V., 2019. Broad-band polarization-insensitive all-dielectric metalens enabled by intentional off-resonance waveguiding at mid-wave infrared. *Applied Physics Letters*, 114, 043105.

- Vogt M. R., 2015. PhD. Thesis, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover.
- Volpe, G.; Volpe, G.; Quidant, R., 2011. Fractal Plasmonics: Subdiffraction Focusing and Broadband Spectral Response by a Sierpinski Nanocarpets. *Optics Express*, 19, 3612-3618.
- Wang, E.-W., Li, L.-L., Yu, W.-X., Wang, T.-S., Gao, J.-S., Fu, Y.-Q., Liu, Y.-L., 2013. The Focusing Property of Immersed Plasmonic Nanolenses Under Radially Polarized Illumination. *IEEE Photonics Journal*, 4500207.
- Wen, J., Zhang, Y., Xiao, M., M. 2013. The Talbot effect: recent advances in classical optics, nonlinear optics, and quantum optics. *Advances in Optics and Photonics*, 5, 83-130.
- Xia, T., Cheng, S., Tao, S., 2019. A general n-fractal aperiodic zone plate. *Journal of Modern Optics*, 66 (11), 1179–1189.
- Yang, Y., Dai, H. T., Sun, X. W., 2014. Fractal diabolos antenna for enhancing and confining the optical magnetic field. *AIP Advances*, 4, 017123.
- Yu, N., Capasso, F., Flat optics with designer metasurfaces. *Nature Materials*, 13, 139–150.
- Yu, Y., Chassaing, D., Scherer, T., Landenberger, B., Zappe, H., 2013. The Focusing and Talbot Effect of Periodic Arrays of Metallic Nanoapertures in High-Index Medium. *Plasmonics* 2013, 8, 723-732.
- Zang, H.P., Zheng, C.L., Ji, Z.W., Fan, Q.P., Wei, L., Li, Y.J., Mu, K.J., Chen, S., Wang, C. K., Zhu, X.L., 2019. Characterization of focusing performance of spiral zone plates with fractal structure. *Chinese Physics B*, 28, (6) 064201.
- Zhang, L., Mei, S., Huang, K., Qiu, C.W., 2016. Advances in Full Control of Electromagnetic Waves with Metasurfaces. *Advanced Optical Materials*, 4, 818-833.
- Zhang, W., Zhao, C., Wang, J., Zhang, J., 2009. An experimental study of the plasmonic Talbot effect. *Optics Express*, 17, 19757-19762.



SULU ÇÖZELTİLERDEN AKTİF KARBON ÜZERİNE ADSORPSİYON İLE ANTİBİYOTİKLERİN (TETRASİKLİN VE PENİSİLİN G) GİDERİMİ

Aydın TÜRKYILMAZ*, Kaan İŞINKARALAR

Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Adsorpsiyon,
Aktif Karbon,
Antibiyotik,
Sulu Çözelti,
Yer Fıstığı Kabuğu.*

Öz

Selülozik yapıdaki bir atık olan yer fıstığı kabuğundan aktif karbon elde ederek ekonomiye kazandırılması ve hem karasal hem de sucul ekosistemlerde önemli bir kirletici olan antibiyotiklerin aktif karbon üzerine adsorpsiyonu ile giderimi çalışılmıştır. Bu çalışmada aktif karbon üzerine farklı derişimlerdeki sulu çözeltilerden farklı koşullarda antibiyotiklerin (Tetrasiklin Ve Penisilin G) adsorpsiyonu yapılmıştır. Adsorbentin karakteristik özellikleri ve yüzey yapısı SEM EDX, BET ve elementel analiz ile karakterize edilmiştir. Elde edilen aktif karbonun BET yüzey alanı 308.6 m²/g, toplam gözenek hacmi 0,13 cm³/g ve toplam mikro gözenek hacmi ise 0,09 cm³/g olarak bulunmuştur. Antibiyotik olarak seçilen penisilin G'nin 25-40-60°C de ve 3-5-8 pH değerlerinde, tetrasiklinin 30-40-60°C de ve 3-7-9 pH değerlerinde giderim çalışmaları yapılmıştır. Deneysel veriler Langmuir ve Freundlich izotermi kullanılarak analiz ve korelasyon değerleri incelendiğinde Freundlich izotermi ile daha uyumlu olduğu bulunmuştur. Gerçekleştirilen adsorpsiyonunun fiziksel olarak adsorbe olduğu görülmüştür. Aktif karbonların antibiyotik gideriminde kullanılması kirliliğin azaltılmasında etkili olduğu belirlenmiştir.

REMOVAL OF ANTIBIOTICS (TETRACYCLINE AND PENICILLIN G) FROM WATER SOLUTIONS BY ADSORPTION ON ACTIVATED CARBON

Keywords

*Adsorption,
Activated Carbon,
Antibiotic,
Aqueous Solution,
Peanut Shell.*

Abstract

It was studied to obtain active carbon from peanut shell, which is a cellulosic waste, to bring it to the economy and to remove it by adsorption of antibiotics, which are an important pollutant in both terrestrial and aquatic ecosystems, on activated carbon. In this study, antibiotics (Tetracycline and Penicillin G) adsorption were done on activated carbon under different conditions than aqueous solutions of different concentrations. The characteristic features and surface structure of the adsorbent are characterized by SEM EDX, BET and elemental analysis. The BET surface area of the activated carbon obtained was found to be 308.6 m²/g, the total pore volume was 0.13 cm³/g and the total micropore volume was 0.09 cm³/g. Removal studies have been carried out 30-40-60 °C and at pH values of 3-5-8 for Penicillin G, 30-40-60 °C and pH values of 3-7-9 for Tetracycline. When the analysis and correlation values were examined by using experimental data Langmuir and Freundlich isotherms, adsorption isotherm was found to be more compatible with Freundlich isotherm. It was found that the adsorption performed was physically adsorbed. It has been determined that the use of activated carbons in antibiotics removal is effective in reducing pollution.

Alıntı / Cite

Türkyılmaz, A., İşinkaralar, K. (2020). Sulu Çözeltilerden Aktif Karbon Üzerine Adsorpsiyon İle Antibiyotiklerin (Tetrasiklin ve Penisilin G) Giderimi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 943-951.

* İlgili yazar / Corresponding author: aturkyilmaz@kastamonu.edu.tr, +90-366-280-2924

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
A. Türkyılmaz, 0000-0002-9379-9995	Başvuru Tarihi / Submission Date	02.07.2020
K. İşinkaralar, 0000-0003-1850-7515	Revizyon Tarihi / Revision Date	08.09.2020
	Kabul Tarihi / Accepted Date	16.09.2020
	Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Giriş (Introduction)

Dünya nüfusunun artmasıyla beraber insanoğlunun çevreyi kirletmesi de hızlanmıştır. Bu kirliliğin başında yer alan kirlenme türü ise ilaç kullanımına bağlı olan çevre kirliliğidir (Wang vd., 2010). Antibiyotik kullanımı, tedavi edilmeye çalışılan hastalıklar için en yaygın başvuru olan ilaç türlerinin başında gelmektedir (Brown vd., 2006). Gerek insan vücudunda gerekse hayvanlarda sıklıkla başvuru olan önemli antibiyotikler arasında ise penisilinler ve tetrasiklinler ilk sıralarda yerini almaktadırlar (Zhang vd., 2016). Penisilin β -lactam grubunda olup geniş spektrumlu olmasından dolayı kullanımı yaygın olan farmasötik üründür (Ye vd., 2007). Ayrıca yüksek antibakteriyel aktivitesinin yanında, ısıya ve asidik ortama duyarlılığı fazla olmasından dolayı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Tetrasiklinler ise penisilinler gibi oldukça yaygın olarak kullanılır ve birçok bakteriyel enfeksiyonların giderilmesinde kullanılmaktadır. Özellikle de hayvansal hastalıkların gideriminde ve hayvanların gelişiminde önemli rol oynamasından dolayı hayvanlarda da yaygınca kullanılmaktadır. Bu antibiyotikler suda yüksek oranda çözünürlüklere sahip olmasından dolayı çevre kirliliğinde önemli rol oynamaktadır. Zamanla artış göstererek alıcı ortamda birikim yapan antibiyotikler o ortamda bulunan bakterilerin ve mikroorganizmaların onlara karşı direnç sağlamasına katkıları belirtilmiştir. Sadece sucul ortamdaki birikim değil karasal ekosistemde (çamur, toprak, gübre gibi...) bulunan bakterilerin de bunlara karşı direnç kazanmaları söz konusudur (Constanzo vd., 2005).

Sucul ortamdan farmasötik kirleticilerin gideriminde kullanılan koagülasyon, flokülasyon, sedimentasyon, membran filtrasyonu, biyolojik arıtma ve kimyasal oksidasyon gibi işlemler mevcuttur. Ancak aktif karbon kullanılarak adsorpsiyon işlemi ise diğer mevcut yöntemlere göre daha başarılı olduğu yapılan çeşitli çalışmalar ile ispatlanmıştır (Adams vd., 2002, Genç ve Doğan 2015, Çelebi ve Gök 2017). Aktif karbon ne kadar yüksek mikro gözenek hacmine ve çoklu gözenek yapısına sahip ise ortamdan bir o kadar yüksek seviyede kirletici giderimi yapmaktadır (Hesas vd., 2013; Diasa vd., 2007, Özcan vd., 2018). Hem toz halinde hem de granüler halde kullanılan aktif karbonun adsorpsiyon kapasitesinin sulu çözeltilerinden gideriminde sıklıkla tercih edilmeye başlanmıştır (Cuerda-Correa vd., 2010; Jung vd., 2010; Suriyanon vd., 2015). Son on yılda lignoselülozik tabanlı atıklardan aktif karbon üreterek, bu adsorbentlerin çevre açısından kirliliklerin giderilmesinde kullanımı oldukça yaygın bir şekilde artmaya başlamıştır. Dünya yer fıstığı ithalatı 1998-2016 yılları arasında 1.109.758 tondan 2.010.031 tona çıkarak %81 artmıştır. Ülkemizde ise 2004-2018 yılına kadar olan yer fıstığı üretimi ise 80.000 den 173.835 tona çıkmıştır. Dolayısıyla yer fıstığı üretimi her geçen yıl artarak ülke ekonomisine önemli katkı sağlamaktadır (Özalp 2019). Yer fıstığı üretimine paralel olarak yer fıstığı atığı olan kabuğunda da önemli bir artış gerçekleşmektedir. Dolayısıyla tarımsal atık olan yer fıstığı kabuğundan aktif karbon üreterek ülke ekonomisini kazandırılması büyük önem arz etmektedir. Sonuç olarak ülkemizin bir tarım ülkesi olmasından dolayı tarımsal atıkların biyomateryallere dönüştürülerek özellikle çevre kirliliğinde kullanımları oldukça yaygın hale gelmiştir.

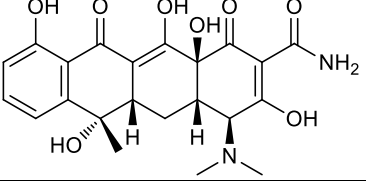
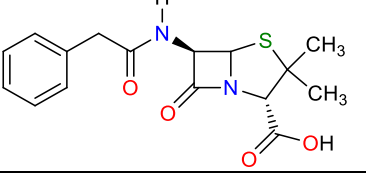
Bu bağlamda çalışmamızda kullanılan lignoselülozik yapıdaki atık olan yer fıstığı kabuğu da özellikle Akdeniz bölgesinde bol miktarda üretilen yer fıstığından elde edilen aktif karbonun çevre kirliliğine sebep olan penisilin ve tetrasiklinin sucul ortamdan giderimi pH ve sıcaklık değişimleri ile birlikte çalışılmış ve elde edilen aktif karbonun adsorpsiyon kapasitesinin belirlenmesi için de Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermi kullanılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Materyal Seçimi (Selection of Materials)

Aktif karbon üretiminde kullanılan yer fıstığı (*Arachis hypogaea* L.) kabukları Osmaniye ilinden temin edilmiştir. Aktif karbon üretimi ve pH ayarlamasının da kullanılan H_2SO_4 , NaOH analitik saflıkta ve Merck firmasından alınmıştır. Adsorpsiyon deneyleri için kullanılan antibiyotikler ise Sigma-Aldrich firmasından satın alınmış olup kimyasal formülü aşağıda verilmiştir. Örneklerin tartım işlemleri Adam PW 214 marka terazi, pH ölçümleri Hanna HI 2211-02 pH metre ve UV-VIS ölçümleri için ise Hach Lange DR 6000 model spektrofotometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Tetrasiklin ve Penisilin G Antibiyotiklerinin Moleküler Özellikleri (Molecular Properties of Tetracycline and Penicillin G Antibiotics)

BİLEŞİK	YAPISI	FORMÜLÜ	MOLEKÜLER AĞIRLIĞI (g/mol)	ÇÖZÜNÜRLÜK (mg/L)	Γ_{MAX} (NM)	REF.
Tetrasiklin		$C_{22}H_{24}N_2O_8$	480,90	22	360	Ocampo-Pérez vd., 2015
Penisilin G		$C_{16}H_{17}N_2O_4S$	372,48	100	290	Weltzien ve Padovan 1998

2.2. Aktif Karbon Üretimi (Production of Activated Carbon)

Antibiyotiklerin adsorpsiyonu için kullanılan aktif karbonlar, yer fıstığı kabuğunun, kimyasal aktivasyon yöntemiyle H_2SO_4 kullanılarak sentezlenmiştir. Toplanan atık yer fıstığı kabukları öncelikle kurutulup nemi giderildikten sonra, bilyeli öğütücüde öğütülmüş ve 0-75 μm 'den elenmiştir. Daha sonra 5 M'lık H_2SO_4 , çözeltisinden 200 mL ile ıslatılarak 1 gün süre ile oda sıcaklığında aktivasyon ajanının yer fıstığı kabuğundaki lignoselülozik yapının parçalanması için bekletilip ardından 110 °C'de etüvde 1 gün kurutulmuştur. Kurutulan örnekler, karbon iskeletinin ortaya çıkarılması ve lignoselülozik yapıdaki karbon dışındaki diğer atomların uzaklaştırılması için paslanmaz, çelik kapalı reaktör kabında 800 °C'de, 10 psi'lık sabit N_2 azot akışı altında 2 saat piroliz edildi. Son olarak ta fırından çıkan örneklerin yanmasını önlemek için reaktörün oda sıcaklığına gelene kadar 10 psi'lık sabit N_2 azot akışı altında soğuması sağlanmıştır. Soğutulan örnekler, reaktörden çıkarılarak H_2SO_4 'ün aşırısının nötrleşmesi için 1 M'lık NaOH çözeltisi ile yıkanıp, daha sonra aktif karbon ılık distile su ile pH 7 olana kadar yıkanmış ve 110 °C'de etüvde 1 gün kurutulmuştur. Kurutulan örnekler öğütücüde tekrar öğütülüp elekten elenerek tanecik boyutu 0-50 μm 'ye getirildikten sonra aktif karbonun karakterizasyonu için BET yüzey alanı ölçümleri ve SEM-EDX görüntüleri alınmıştır.

2.2.1. Aktif Karbon Karakterizasyonu (Characterization of Activated Carbon)

Yer fıstığı kabuğunun H_2SO_4 ile aktivasyonundan 800 °C'de sentezlenen aktif karbon örneklerinin karakterizasyonu BET ve SEM-EDX cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. BET Yüzey Alanı Ölçümü (Measurement of BET Surface Area)

Yer fıstığı kabuğu ve kimyasal aktivasyondan sonra elde edilen aktif karbonların BET yüzey alanı ölçümleri önce örnekler 300 °C'de 1 gün süre ile degaz edilmiştir. Degaz edilen örneklerin yüzey alanı ölçümleri sıvı azot ortamında (77 K) saf azot gazının adsorbent olarak kullanılmasıyla BET yüzey alanı tayinleri, Quantachrome, Nova Touch LX4 model BET cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

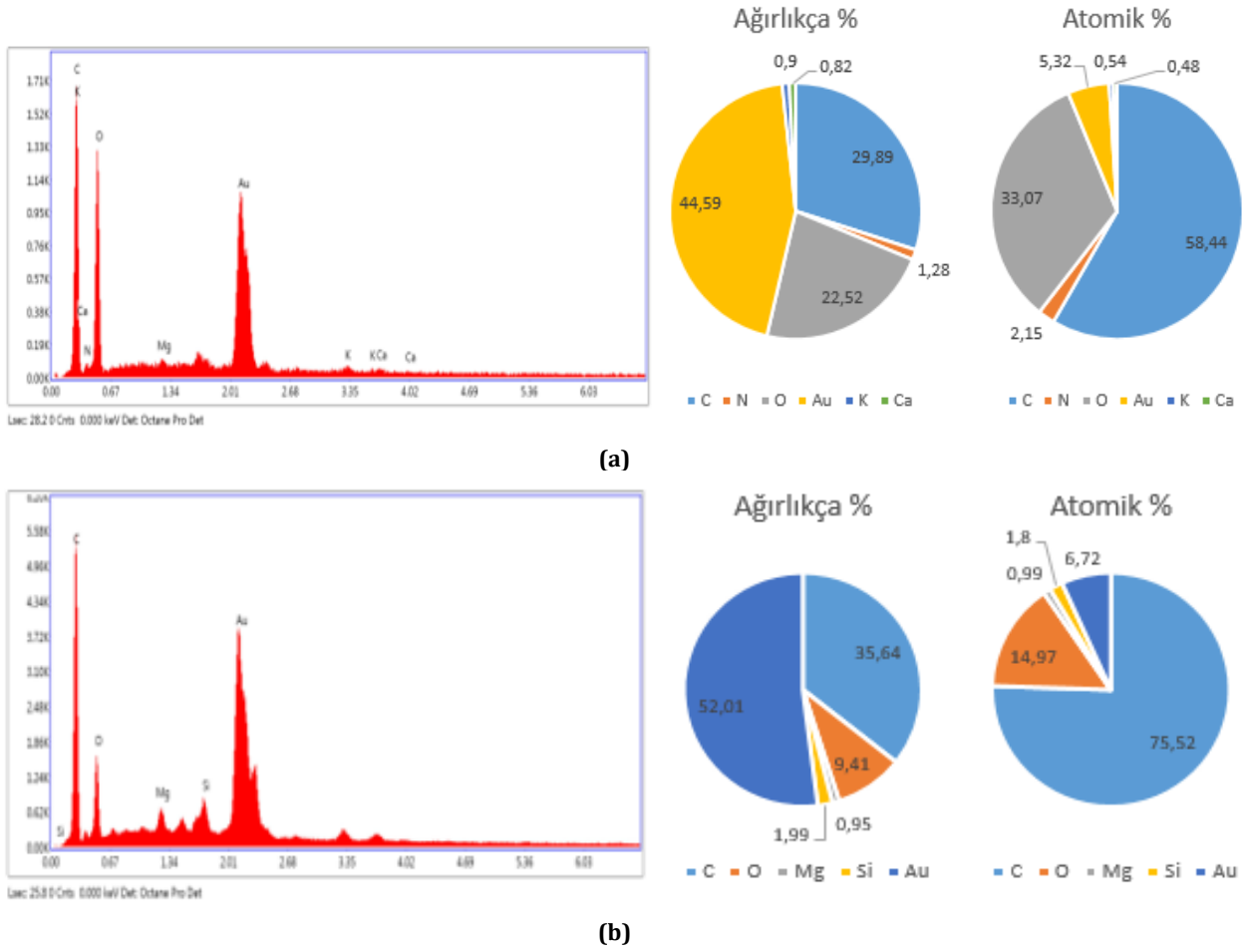
2.2.3. SEM-EDX Analizi (Analysis of SEM-EDX)

Ham ve aktive edilmiş örneklerin SEM EDX görüntüleri ise FEI marka Quanta FEG 250 cihazı ile alınmıştır. Aktivasyon işleminden önce ve sonra olmak üzere yüzey özellikleri belirlenebilmesi amacıyla bu işlem yapılmıştır.

Tablo 2. Ham Yer Fıstığı Kabuğu ve Aktifleştirilmiş Karbonun Gözenek Özellikleri (Pore Properties of Raw Peanut Shell and Activated Carbon)

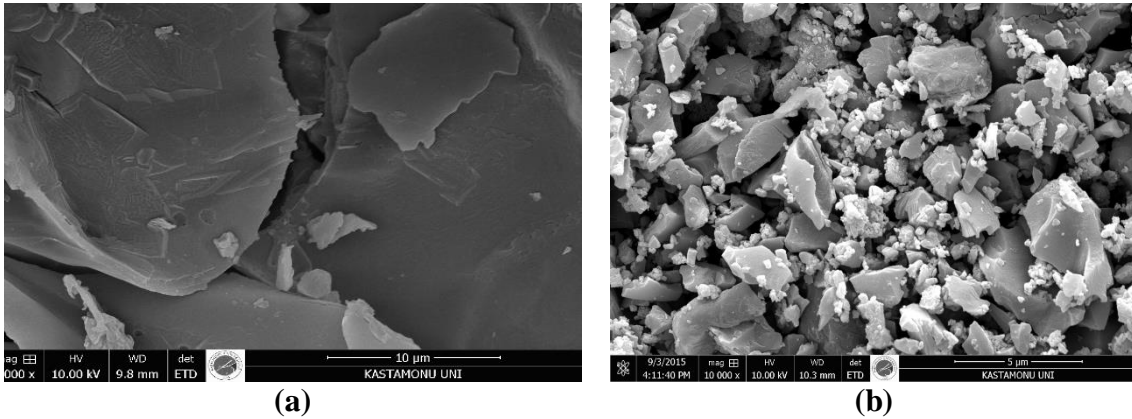
Örnekler	Bet Yüzey alanı (m^2/g)	V_{Toplam} (cm^3/g)	V_{Mikro} (cm^3/g)	V_{Mezo} (cm^3/g)
Ham yer fıstığı kabuğu	0,83	0,003	0,0004	0,0026
Aktif karbon	308,6	0,13	0,09	0,121

Çalışma kapsamında elde edilen aktif karbonun C miktarlarına bakıldığında ağırlıkça ham yer fıstığı kabuğunun %29,89 iken aktif karbonun %35,64, ham yer fıstığı kabuğunun atomik olarak % 58,44 'ten %75,52'ye çıktığı gözlenmiştir.



Şekil 1. Ham Yer Fıstığı Kabuğunun (a) ve Aktif Karbonun (b) EDX Analiz Sonuçları (EDX Analysis Results of Raw Peanut Shell (a) and Activated Carbon(b))

Aktif karbonun gözenek hacmi ve yüzey alanının büyüklüğünün yanı sıra gözeneklerinin büyüklüğü ve dağılımı da oldukça önemlidir. Homojen olmayan yapıların daha geniş iç yüzey alanlarına sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Ham Yer Fıstığı Kabuğu (a) ve Aktifleştirilmiş Karbonun (b) SEM Görüntüleri (SEM Images of Raw Peanut Shell (a) and Activated Carbon (b))

3. Deneysel Sonuçlar(Experimental Results)

3.1. Adsorpsiyon Deneyleri (Adsorption Experiments)

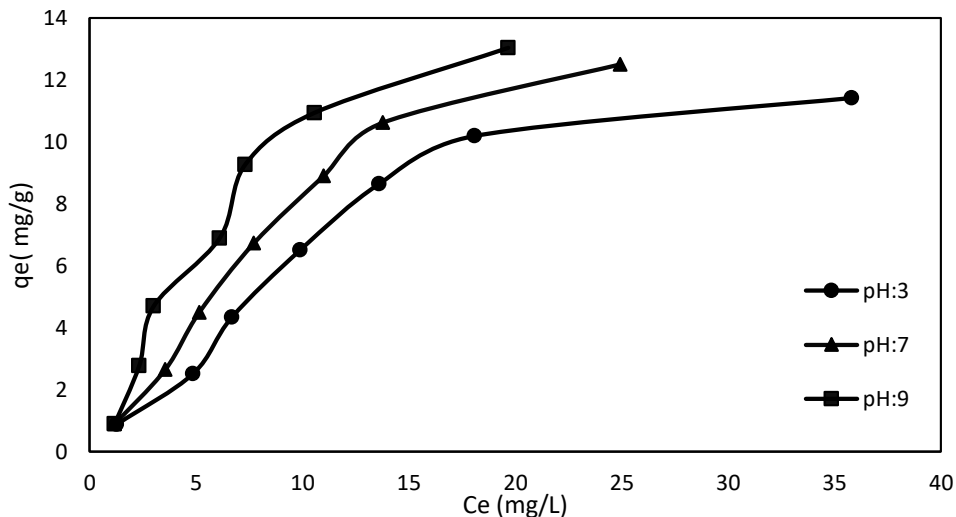
Antibiyotiklerin aktif karbon üzerine adsorpsiyonu deneyleri 10-400 ppm arasında derişimlerde antibiyotiğin 50 mL çözeltilerinin 0,01 g aktif karbon ile karıştırılıp değişen pH ve sıcaklıklarda bir gün 100 mL'lik polietilen kaplarda çalkalanması ile yapılmıştır. Deneylerde antibiyotik çözeltilerinin önceden hazırlanan 200 mg/L'lik çözeltileri kullanılmıştır. Örneklerin pH'sı, Hanna HI 2211-02 model pH metre kullanılarak NaOH ve HCl çözeltileri ile ayarlanmıştır. 24 saatin sonunda Adsorpsiyon dengeye geldiğinde çözeltiler 3500 rpm'de 15 dakika santrifüj edilerek çözeltiler ortamından otomatik pipet ile 10 mL alınan örnekler farklı oranlarda saf su ile seyreltilmesinin ardından çözeltilerden kalan antibiyotik çözeltilerinin derişimi Hach Lange DR 6000 UV/VIS spektrofotometre ile dalga boyu taramasından sonra spektrofotometrik ölçümler tetrasiklin için 360 nm ve penisilin G için ise 290 nm'de yapılmıştır. Her bir deney için antibiyotik çözeltilerinin aktif karbon üzerine adsorplanmış miktarları, değişen pH ve sıcaklık koşullarında penisilin G ve tetrasiklinin gram başına adsorplanmış miktarı Eşitlik 1 kullanılarak bulunmuştur.

$$q_e = (C_0 - C_e) \frac{V}{W} \quad (1)$$

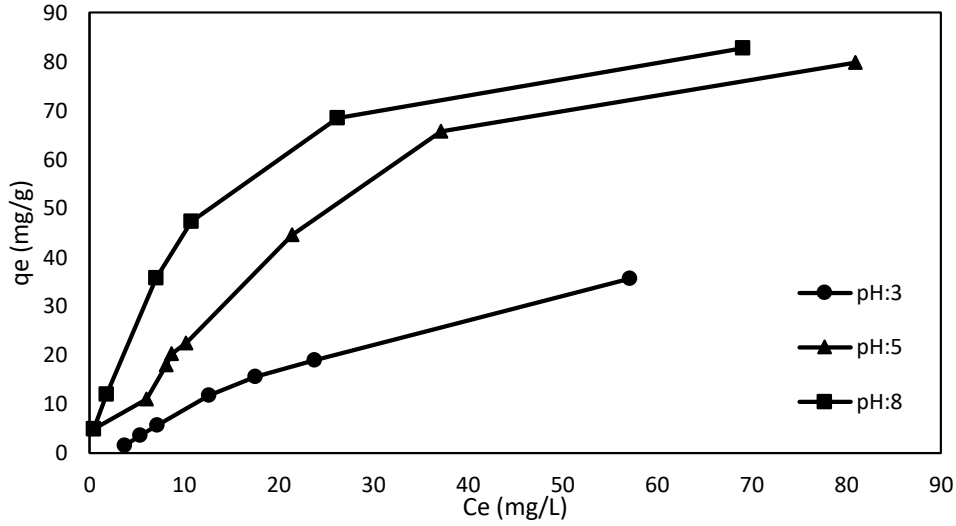
Denklemdaki; q_e , dengede aktif karbon yüzeyinde adsorplanmış antibiyotik miktarı (mg/g); C_0 ve C_e , adsorpsiyondan önce ve sonra çözeltilerde kalan antibiyotik miktarı (mg/L); V , kullanılan antibiyotik çözeltilerinin hacmi (L) ve W , aktif karbonun gram miktarıdır. Adsorban ve Adsorbent arasındaki ilişkiyi açıklamada kullanılan adsorpsiyon izotermleridir. Çalışmalardan elde edilen verilerin modellenmesinde Langmuir ve Freundlich izotermleri kullanılmıştır.

3.1.1. pH Etkisi (Effect of pH)

Adsorbentler yüzeyinde gerçekleşen adsorpsiyon olaylarında adsorbent yüzey yükü ve çözeltilerin pozitif ve negatif yük derişimi adsorpsiyonu etkileyen önemli parametrelerdendir. Katı madde yüzeylerine penisilin ve tetrasiklinin aktif karbon yüzeyinde tutunan miktarına etki eden önemli faktörlerden birisi pH'dır. Antibiyotiklerin adsorplanması, genellikle adsorplanan H_3O^+/OH^- miktarı ile belirlenmesine ve katı taneciklerin elektron hareketliliğine bağlıdır. Bu elektron hareket davranışı tanecik yüzeyindeki net yük ile belirlenmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4 'de de görüldüğü gibi pH artışıyla beraber aktif karbon yüzeyindeki negatif yük yoğunluğunu artışına bağlı olarak tetrasiklin ve penisilin G nin adsorpsiyonunda artış meydana gelmiştir. Tetrasiklin için 3-10 pH aralığında yaptığımız ön deneme çalışmalarında pH 9 dan sonra tetrasiklinin hidrolizinden dolayı en uygun pH 9 olarak bulundu. Tetrasiklinin pH 8 veya 10 da hızlı bir şekilde hidroliz olması biyokömür üzerine tetrasiklin adsorpsiyonunun üzerine pH etkisini belirlemede oldukça güçleştirmiştir (Li vd., 2019). Penisilin G için de en iyi giderim pH 8 de gerçekleşmiş olup daha yüksek pH larda hidroksil oluşumunun artışına paralel olarak penisilin G'nin çözünürlüğü azalmış ve dolayısıyla adsorpsiyon verimi de düşmüştür. pH 3 penisilin G adsorpsiyonu için maksimum değer olarak elde edilmiş. Yüksek pH değerleri radikal hidroksit oluşumuna sebep olduğu için penisilin G'nin giderimi azalmıştır (Kamranifar vd., 2019).



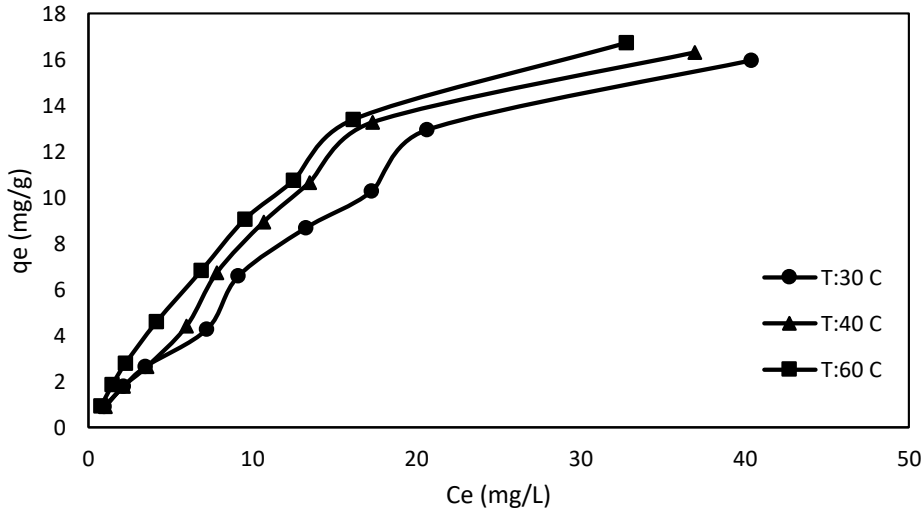
Şekil 3. Aktif Karbon Yüzeyinde Tetrasiklin Adsorpsiyonuna pH Etkisi (pH Effect on Tetracycline Adsorption on Activated Carbon Surface)



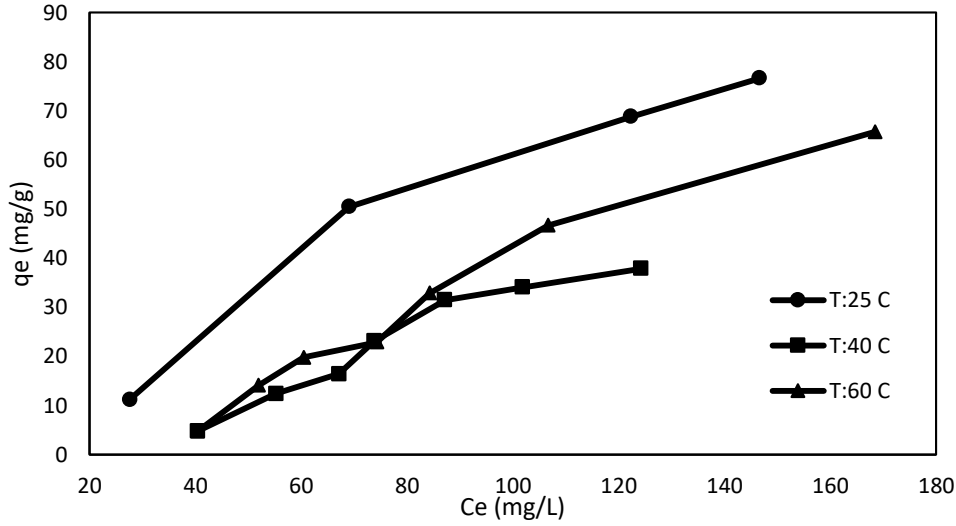
Şekil 4. Aktif Karbon Yüzeyinde Penisilin G Adsorpsiyonuna pH Etkisi (Effect of pH on Penicillin G Adsorption on Activated Carbon Surface)

3.1.2. Sıcaklığın Etkisi (Effect of Temperature)

Aktif karbon yüzeyinde tetrasiklin ve penisilin G adsorpsiyonuna sıcaklığın etkisi deneyleri 25, 30, 40 ve 60 °C'de yapılmıştır ve deneysel verilerin grafikleri Şekil 5.' Ve şekil 6 de verilmiştir. Şekillerden artan sıcaklıkla aktif karbon yüzeyinde tetrasiklin antibiyotiğinin adsorplanan miktarının arttığı ve bunun nedeni; sıcaklık artışıyla beraber, düşük sıcaklıklarda moleküler hareketliliği az olan antibiyotik moleküllerinin, moleküler hareketindeki artmadır. Artan sıcaklıkla çok sayıda antibiyotik molekülü aktif karbon yüzeyindeki aktif noktalarla etkileşime girerek yeterli enerjiye sahip olmaya çalışacaklardır (Costanzo vd., 2005; Cuerda-Correa vd., 2010). Ancak penisilin G'de ise artan sıcaklıkla beraber adsorpsiyondan azalma gözlemlendi bunu sebebi ise artan sıcaklıkla beraber antibiyotiğin yapısının bozulması olarak düşünüldü. Tetrasiklinin aktif karbon üzerine adsorpsiyonunun artan sıcaklıkla artması entalpi değişiminin pozitif olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda aktif karbon yüzeyindeki tetrasiklin antibiyotiğinin adsorpsiyon olayının endotermik bir işlem olduğu söylenebilir.



Şekil 5. Aktif Karbon Yüzeyinde Tetrasiklin Adsorpsiyonuna Sıcaklığın Etkisi (Effect of Temperature on Tetracycline Adsorption on Activated Carbon Surface)



Şekil 6. Aktif Karbon Yüzeyinde Penisilin G Adsorpsiyonuna Sıcaklığın Etkisi (The Effect of Temperature on Penicillin G Adsorption on Activated Carbon Surface)

3.2. Adsorpsiyon İzoterm Verileri (Isotherm Datas of Adsorption)

3.2.1. Freundlich İzotermi (Freundlich Isotherm)

İzotermeler arasında yaygın olarak kullanılan Freundlich izoterminde deneysel eşitlikler üzerinde kurulmuş olup düşük konsantrasyonlar için başarılı bir model olarak uygulanmaktadır (Hung vd., 2005).

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (2)$$

Eşitlik 2 de verilen denklemdeki n, Freundlich sabiti olup adsorpsiyon yoğunluğunun veya yüzeyin heterojen karakteri hakkında bilgi vermektedir. Elde edilen sonuçlar için 1/n değerleri, 0 ile 1 aralığında değişir ve bu değerler sifıra yaklaşma oranı yüzey heterojenitesi artışı hakkında bilgi verir. Yukarıdaki denklem uygulandığında ve lnq_e'nin lnC_e'ye karşı grafiği çizildiğinde düz bir doğru verecek olup doğrunun eğim ve ekstrapolasyonundan izoterm sabitleri K_F ve n değerleri bulunabilmektedir. Tablo 3 farklı pH ve sıcaklıklarda penisilin G'nin aktif karbon yüzeyinde adsorpsiyonu için ölçülmüş deneysel verilerin Freundlich ve Langmuir izoterm sonuçlarını göstermektedir. Freundlich izotermi için belirlenen korelasyon katsayılarının 0,94-0,99 sınırlar içinde olması bu izotermi, deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde Tablo 4 de tetrasiklin için korelasyon değerleri Freundlich izotermi ile daha uyumlu olduğu bulunmuştur.

Tablo 3. Aktif karbon yüzeyinde penisilin G adsorpsiyonu için hesaplanan izoterm parametreleri (Isotherm parameters calculated for penicillin G adsorption on the activated carbon surface)

PARAMETRELER		LANGMUIR İZOTERMİ			FREUNDLICH İZOTERMİ		
Sıcaklık (°C)	pH	q _m (mg/g)	K (L/mg)	R ²	R ²	n	K _F
25	Doğal	-3333	-0,0014	0,14	0,94	0,87	2,79
40	Doğal	-196	-0,0063	0,52	0,95	0,56	0,10
60	Doğal	-357	-0,003	0,31	0,97	0,61	0,23
25	3	-526	-0,0012	0,01	0,97	1,18	4,39
25	5	117,6	0,028	0,78	0,99	1,18	3,15
25	8	9,52	0,96	0,98	0,99	2,08	14,29

3.2.2. Langmuir İzotermi (Langmuir Isotherm)

Langmuir izotermi, adsorbentin yüzeyindeki birbirine benzeyen aktif noktaların çok olduğu ve yüzeydeki tek tabakalı adsorpsiyonu açıklamak için kullanılan bir model izotermidir. Bu model yüzeydeki adsorpsiyon olayının enerjisinin değişmediği ve adsorbent yüzeyindeki adsorbat moleküllerinin hareketinin mümkün olmadığını farz etmektedir (Kinniburgh, 1986).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K} + \frac{C_e}{q_m} \quad (3)$$

Bu denklem doğrultusunda C_e/q_e 'nin C_e 'ye karşı eğrisi, eğimi $1/q_m$ ve ekstrapolasyonu $1/q_m K$ olan lineer bir doğru verecektir. Deneysel sonuçlardan elde edilen verilerin korelasyon sabitleri (R^2 değerleri) Tablo 3 ve Tablo 4 'de verilmiştir. Langmuir izoterminde uygulanmasıyla elde edilen doğruların korelasyon katsayılarının çok küçük olduğu bulunmuştur. Elde edilen bu sonuç doğrultusunda deneysel verilerin Langmuir izoterminde iyi bir uyum içinde olmadığını göstermekte ve yüzeyin homojen olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü Langmuir izoterminde, yüzeyin homojen olduğunu kabul eder. Aktif karbon yüzeyinde antibiyotik adsorpsiyonuna pH ve sıcaklığın etkilerini gösteren Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6 grafikleri için Langmuir ve Freundlich izotermi çizilmiştir. Bu şekillerin eğim ve kayımlarından izoterm parametreleri olan K ve q_m değerleri hesaplanarak Tablo 3 ve Tablo 4 'de verilmiştir.

Tablo 4. Aktif karbon yüzeyinde tetrasiklin adsorpsiyonu için hesaplanan izoterm parametreleri (Isotherm parameters calculated for the adsorption of tetracycline on the activated carbon surface)

PARAMETRELER		LANGMUIR İZOTERMİ			FREUNDLICH İZOTERMİ		
Sıcaklık (°C)	pH	q_m (mg/g)	K (L/mg)	R^2	R^2	n	K_F
30	Doğal	31,25	0,027	0,88	0,98	1,25	3,16
40	Doğal	33,3	0,028	0,76	0,96	1,17	1,03
60	Doğal	28,57	0,046	0,97	0,98	1,35	1,53
25	3	22,72	0,034	0,76	0,99	1,15	1,16
25	7	37,03	0,025	0,61	0,99	1,15	1,096
25	9	37,03	0,033	0,32	0,96	1,45	2,16

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Kimyasal aktivasyon yöntemi ile hazırlanan Aktif karbonların adsorpsiyon performansı, iki antibiyotik grubuna, yani tetrasiklin ve penisilin G'nin sulu çözeltilerden giderimi olarak çalışıldı. adsorpsiyon değişkenlerinden pH ve sıcaklığın Aktif karbonların ilaçlara yönelik adsorpsiyon performansı üzerindeki etkileri incelendiğinde Artan sıcaklıkla beraber adsorplanan tetrasiklin miktarı da aktif karbonun gözeneklerinin açılması ile birlikte daha fazla yüzeye adsorbe olduğu bulundu. Ancak penisilin G de ise sıcaklık artışı yapıyı bozduğundan dolayı adsorpsiyonun düştüğü görüldü. pH artışı adsorbentin yüzeyindeki negatif yük merkezinin artışına katkı sağlayarak adsorplanan antibiyotik miktarını artırmıştır. Tetrasiklin ve penisilin G'nin yapısal farklılıklarından dolayı pH'nın adsorpsiyon verimine olan etkisi bu iki antibiyotik için aynı pH aralıklarında çalışma imkanını vermemiştir. Penisilin G için en uygun sıcaklık; 25 °C ve tetrasiklin için ise; 60 °C bulunmuştur. pH'nı adsorpsiyona etkisinin incelenmesinde ise penisilin G için; 8, tetrasiklin için ise 9 olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon çalışmalarında sıklıkla kullanılan Langmuir ve Freundlich izotermiyle elde edilen korelasyon değerleri incelendiğinde çalışmamızın Freundlich izoterminde daha uyumlu olduğu bulunmuştur. Bu sonuçta bize aktif karbon üzerine tetrasiklin ve penisilin G'nin adsorpsiyonunun fiziksel olarak adsorbe olduğunu ifade etmektedir.

Elde edilen aktif karbonların karakterizasyonu sonucunda BET yüzey alanı ve gözenek boyutu dağılımı, SEM görüntülenmesi sonucunda oluşan gözeneklerin varlığı bu gerçekleri de doğrulamaktadır. Çalışmamızda yer fıstığı kabuğundan elde edilen aktif karbonların yüzey alanı ham örnekle kıyasladığımızda yaklaşık 371 kat artarak 308 m²/g bulunmuştur. Bu artışla beraber gözenek hacimleri de artarak yer fıstığından elde ettiğimiz aktif karbonlar, antibiyotik adsorpsiyonu için oldukça uygun bir adsorbent haline gelmiştir.

Sonuç olarak; bitkisel kökenli yer fıstığı kabuğunun kimyasal aktivasyon yöntemi ile elde edilen aktif karbon yüzeyine antibiyotik adsorpsiyonu çalışmasında, günümüzde hem insan hem de hayvanlarda enfeksiyonların giderilmesinde sıklıkla kullanılan tetrasiklin ve penisilin G antibiyotiklerinin kullanımdan sonra çevreye olan olası zararlı etkilerinin azaltılması için adsorpsiyon yöntemi ile sulu çözeltilerden gideriminde yer fıstığı kabuğundan elde ettiğimiz aktif karbonlar oldukça başarılı bir şekilde antibiyotiklerin atık miktarlarını azalttığı bulunmuştur.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından KÜBAP-01/2018-20 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Adams, C., Wang, Y., Loftin, K., & Meyer, M., 2002. Removal of antibiotics from surface and distilled water in conventional water treatment processes. *Journal of Environmental Engineering*, 128(3), 253-260.
- Brown, K. D., Kulis, J., Thomson, B., Chapman, T. H., & Mawhinney, D. B., 2006. Occurrence of antibiotics in hospital, residential, and dairy effluent, municipal wastewater, and the Rio Grande in New Mexico. *Science of the Total Environment*, 366(2-3), 772-783.
- Costanzo, S. D., Murby, J., & Bates, J., 2005. Ecosystem response to antibiotics entering the aquatic environment. *Marine Pollution Bulletin*, 51(1-4), 218-223.
- Cuerda-Correa, E. M., Domínguez-Vargas, J. R., Olivares-Marín, F. J., & de Heredia, J. B., 2010. On the use of carbon blacks as potential low-cost adsorbents for the removal of non-steroidal anti-inflammatory drugs from river water. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1-3), 1046-1053.
- Çelebi, H., Gök, O. Evaluation of Lead Adsorption Kinetics and Isotherms from Aqueous Solution Using Natural Walnut Shell. *Int International Journal of Environmental Research* 11, 83-90 (2017).
- Dias, J. M., Alvim-Ferraz, M. C., Almeida, M. F., Rivera-Utrilla, J., & Sánchez-Polo, M., 2007. Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: a review. *Journal of Environmental Management*, 85(4), 833-846.
- Genç, N., & Dogan, E. C., 2015. Adsorption kinetics of the antibiotic ciprofloxacin on bentonite, activated carbon, zeolite, and pumice. *Desalination and Water Treatment*, 53(3), 785-793.
- Hesas, R. H., Daud, W. M. A. W., Sahu, J. N., & Arami-Niya, A., 2013. The effects of a microwave heating method on the production of activated carbon from agricultural waste: A review. *Journal of Analytical and Applied pyrolysis*, 100, 1-11.
- Hung, Y. T., Lo, H. H., Wang, L. K., Taricska, J. R., & Li, K. H., 2005. Granular activated carbon adsorption. In *Physicochemical Treatment Processes* (pp. 573-633). Humana Press.
- Jung, C., Boateng, L. K., Flora, J. R., Oh, J., Braswell, M. C., Son, A., & Yoon, Y., 2015. Competitive adsorption of selected non-steroidal anti-inflammatory drugs on activated biochars: experimental and molecular modeling study. *Chemical Engineering Journal*, 264, 1-9.
- Kamranifar, M., Allahresani, A., & Naghizadeh, A., 2019. Synthesis and characterizations of a novel CoFe₂O₄@ CuS magnetic nanocomposite and investigation of its efficiency for photocatalytic degradation of penicillin G antibiotic in simulated wastewater. *Journal of hazardous materials*, 366, 545-555.
- Kinniburgh, D. G., 1986. General purpose adsorption isotherms. *Environmental Science & Technology*, 20(9), 895-904.
- Li, C., Zhu, X., He, H., Fang, Y., Dong, H., Lü, J., ... & Li, Y., 2019. Adsorption of two antibiotics on biochar prepared in air-containing atmosphere: influence of biochar porosity and molecular size of antibiotics. *Journal of Molecular Liquids*, 274, 353-361.
- Ocampo-Pérez, R., Leyva-Ramos, R., Rivera-Utrilla, J., Flores-Cano, J. V., & Sánchez-Polo, M., 2015. Modeling adsorption rate of tetracyclines on activated carbons from aqueous phase. *Chemical Engineering Research and Design*, 104, 579-588.
- Özalp, B., Türkiye'de yer fıstığı sektörünün değer zinciri analizi, 2019 Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi.
- Özcan, S., Çelebi, H., & Özcan, Z. 2018. Removal of heavy metals from simulated water by using eggshell powder. *Desalination and Water Treatment*, 127, 75-82.
- Suriyanon, N., Permrungruang, J., Kaosaiphun, J., Wongrueng, A., Ngamcharussrivichai, C., & Punyapalakul, P., 2015. Selective adsorption mechanisms of antilipidemic and non-steroidal anti-inflammatory drug residues on functionalized silica-based porous materials in a mixed solute. *Chemosphere*, 136, 222-231.
- Wang, Q. J., Mo, C. H., Li, Y. W., Gao, P., Tai, Y. P., Zhang, Y., ... & Xu, J. W., 2010. Determination of four fluoroquinolone antibiotics in tap water in Guangzhou and Macao. *Environmental Pollution*, 158(7), 2350-2358.
- Weltzien, H. U., & Padovan, E., 1998. Molecular features of penicillin allergy. *Journal of Investigative Dermatology*, 110(3), 203-206.
- Ye, Z., Weinberg, H. S., & Meyer, M. T., 2007. Trace analysis of trimethoprim and sulfonamide, macrolide, quinolone, and tetracycline antibiotics in chlorinated drinking water using liquid chromatography electrospray tandem mass spectrometry. *Analytical Chemistry*, 79(3), 1135-1144.
- Zhang, X., Guo, W., Ngo, H. H., Wen, H., Li, N., & Wu, W., 2016. Performance evaluation of powdered activated carbon for removing 28 types of antibiotics from water. *Journal of Environmental Management*, 172, 19



THE IMPORTANCE OF SMART CAMPUSES IN THE CONTEXT OF BOYD COHEN WHEEL AND SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL DIMENSION

Hakan ÇELEBİ*, Tolga BAHADIR, İsmail ŞİMŞEK, Şevket TULUN

Aksaray University, Faculty of Engineering, Environmental Engineering Department, Aksaray, Turkey

Keywords

*Aksaray University,
Smart Campus,
Smart City,
Sustainability.*

Abstract

The global climate change and the elements of the increasing consumption have led to the risk of emerging environmental deformation in cities. In light of these parameters, it is the matter that campuses, which are a core component of cities, are also affected. Today, universities prefer to use the Boyd Cohen Wheel to develop their campuses in terms of the sustainable environment as in cities. Because campuses are small-scale cities in terms of many ways, studies to be conducted in these areas can set a model for smart cities as well. There are also several approaches in literature and practice related to the process of conversion to smart campuses. This study aims to examine the idea of 'smart campus' and its relationship with 'smart city' by focusing on examples from Aksaray University. In this context, approaches to a sustainable environment in university campuses are discussed.

AKILLI KAMPÜSLERİN BOYD COHEN ÇEMBERİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE BOYUTU BAĞLAMINDAKİ ÖNEMİ

Anahtar Kelimeler

*Aksaray Üniversitesi,
Akıllı Kampüs,
Akıllı Şehir,
Sürdürülebilirlik.*

Öz

Artan nüfus değişimleri, küçük ve büyük ölçekli şehirleri etkilemektedir. Özellikle, bina yapımı ve yerleşimlerde, konfor, enerji verimliliği, atık kontrolü, çevreye uyum ve yüksek teknoloji artık temel ihtiyaçlar arasına girmiştir. Küresel iklim değişikliği ve artan tüketim unsurları, şehirlerde çevresel deformasyon oluşması riskini de beraberinde getirmiştir. Bu parametreler ışığında kentlerin temel bir bileşeni olan kampüslerin de etkilenmesi söz konusudur. Günümüzde üniversiteler kampüslerini kentlerdeki gibi sürdürülebilir çevre açısından geliştirmek için Boyd Cohen Çemberini' kullanmayı tercih etmişlerdir. Kampüsler birçok yönden küçük ölçekli şehirler olup bu alanlarda yapılacak çalışmalar potansiyel olarak akıllı şehirlere de örnek oluşturabilir. Akıllı kampüslere dönüşüm süreci ile ilgili literatürde ve uygulamada çeşitli yaklaşımlar da bulunmaktadır. Bu çalışma mevcut literatürün 'akıllı kampüs' kavramını nasıl kapsadığını ve 'akıllı şehir' ile ilişkisini Aksaray Üniversitesi Kampüsünden örneklerle incelemeyi hedeflemektedir. Bu kapsamda, üniversite yerleşkelerinde, katı atık ve su yönetimi, ulaşım, aydınlatma ve enerji verimliliğinin artırılması hususlarında yaklaşımlar tartışılmıştır.

Alıntı / Cite

Çelebi, H., Bahadır, T., Şimşek, İ., Tulun, Ş., (2020). The Importance of Smart Campuses In The Context of Boyd Cohen Wheel and Sustainable Environmental Dimension, Journal of Engineering Sciences and Design, 8(3), 952-960.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Çelebi, 0000-0002-7726-128X
T. Bahadır, 0000-0001-9647-0338
İ. Şimşek, 0000-0003-1950-5159
Ş. Tulun, 0000-0002-0570-7617

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	13.03.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	17.06.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	24.08.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

* Corresponding author: hakanaz.celebi@gmail.com, +90-382-288-3598

1. Introduction

The population of cities is growing by factors such as birth and migration; therefore, “the proportion of the population living in cities, which is 54% in 2015, is expected to rise to 60% by 2030 and 66% by 2050” (Villegas-Ch et al., 2019; Swilling et al., 2018). With this unstoppable growth, consumption is increasing and many environmental concerns are emerging in individuals. The environmental concerns that cities will face today and in the future can be outlined as follows: Population growth, climate change and global warming, health, declining resources, pollution, increased energy requirement, and the need for communication. The negative effects of rapid consumption of ecological resources due to the global growth and increasing population have paved the way for many cities to be smart cities in the world (Barcelona, Singapore, Copenhagen, etc.) (Bi et al., 2017; Huang et al., 2015; Yang, 2015). The rapid population growth, especially in large cities, leads to many problems. These problems adversely affect the economic and social life in the cities, as well as reduce the life quality of the city residents and reduce the brand and competitiveness power of the cities. At this point, since it has the potential to generate rational solutions for urban problems, the Smart Cities approach emerges as an important project implemented by countries and international organizations. Technological developments in recent years also lead to a technological transformation in our lives (Jiayu et al., 2019; Kayapınar Kaya et al., 2019). So much so that, technology affects almost all areas of our lives and surrounds us, consciously or unwittingly. Both because of this technological change and because of the sustainable environment phenomenon, the campuses that are an indispensable part of the cities also receive their share from this change (Gorgulu and Kocabey, 2020; Fortes et al., 2019; Bhatia, 2018; Ferraris et al., in press; Koç, 2014). Campuses have always been home to growth, production, innovation, and awareness due to their dynamic structures. The “smart campus” was first introduced in the early 2000s (Vasileva et al., 2018). Smart campuses should be well designed in addition to their environmental and rational dimensions. With a holistic approach, the smart campus should be created as a mixed, compact, well-connected, well-structured, living, green campus in an urbanized environment (Figure 1).

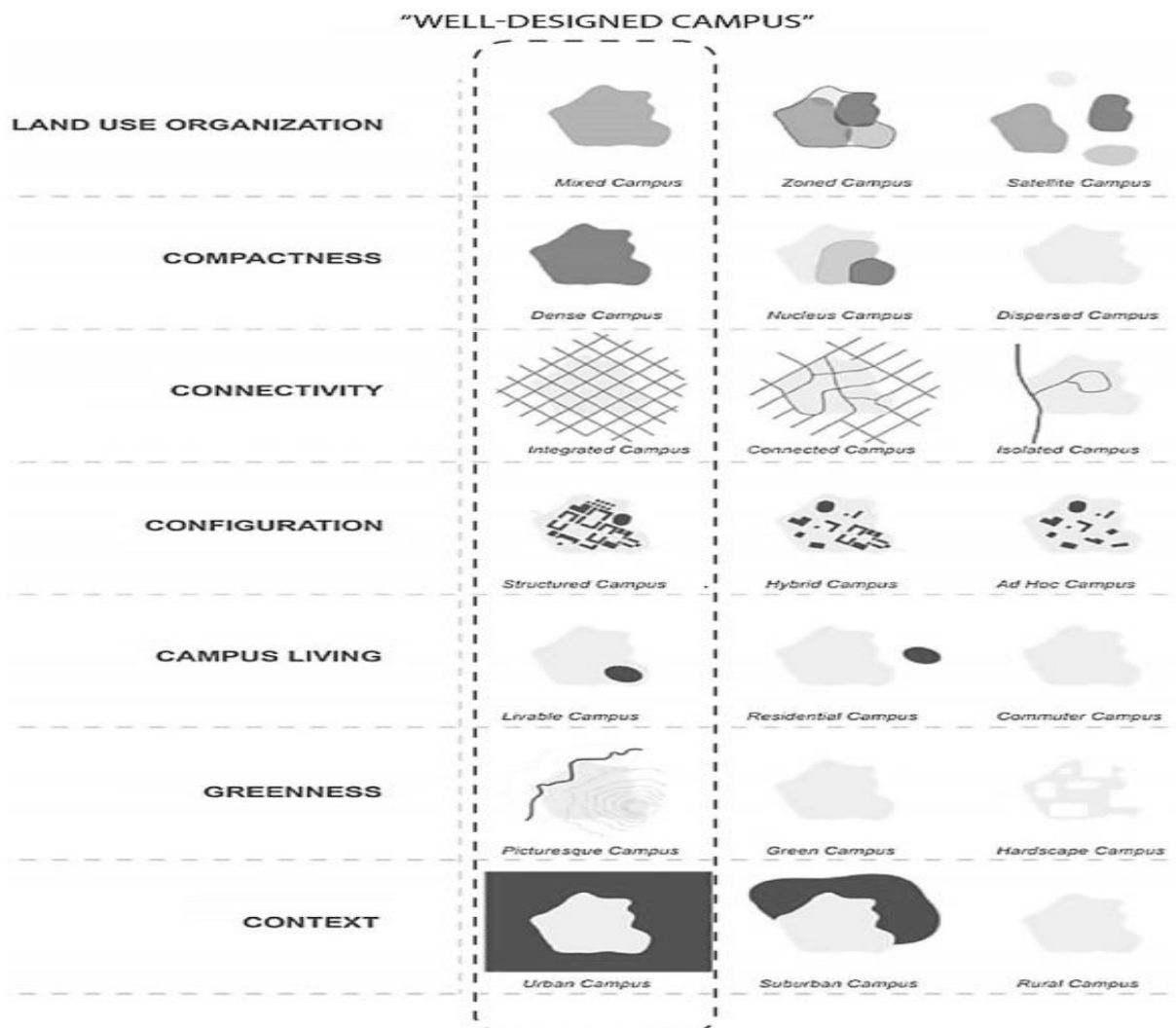


Figure 1. Campus form dimensions (Hajrasouliha, 2017).

Universities are the most important areas that contribute to the development of a modern lifestyle in societies through sustainable and ecological studies. Therefore, sustainable university, sustainable and ecological campus practices have become a rapidly growing trend worldwide. "The sustainable and ecological campus" concept can be expressed as campuses that are environmentally sensitive, minimize energy consumption, have effective waste management, use nature-friendly products and materials, and contribute to sustainable development. With the sustainable and ecological campus applications, the university will be able to stand on its own feet economically, resist global climate change and environmental problems, and perform social responsibility tasks by raising awareness of the community. In this study, which is about smart campus and smart city parameters, the concept of 'smart city' is discussed first and then applications in Aksaray University (ASU) campus are examined within the context of the 'smart campus' concept.

2. Boyd Cohen Wheel and The Components of Smart Cities

While the definition of a smart city is made in the world and Turkey according to a wide variety of commissions and unions, the concept of smart city incorporates some concepts such as sustainable city, connected city, the competitive city, brand city, digital city, livable city, ecological city, green city, and low carbon city (de Souza et al., 2020; General Directorate of Geographic Information Systems, 2019; Guerrieri et al., 2019; Ardito et al., 2019). A smart city is expressed as a sustainable city where technological facilities and data are utilized at the most advanced level in order to improve the life quality of its inhabitants and to use the resources effectively and efficiently, and where all the individuals of the city are integrated with the city management (Neirotti et al., 2014). The smart city is founded on two key criteria (sustainability and communication). With its easy-to-follow fiction, Boyd Cohen's Smart City Wheel has the potential to inspire new projects for smart cities. According to this approach, which is also adopted by the European Union, smart cities consist of 6 components (Figure 2): smart mobility/transportation, living, governance, environment, economy, and people (General Directorate of Geographic Information Systems, 2019; Cohen, 2018; Gasco-Hernandez, 2018; Yaqoob et al., 2017; Yoshida et al., 2017; Liu, 2015). Since these components are applications that feed and develop each other, handling of these components in a holistic way through a systematic approach in smart city design will increase the effectiveness in practice.



Re-designed by Manuchis.

Figure 2. Boyd Cohen's Smart City Wheel (General Directorate of Geographic Information Systems, 2019).

As the interest in sustainable campuses has increased, sustainable international indexes have begun to be used as well. These are the Green League, Environmental and Social Responsibility Index, Green Star, and GreenMetric assessment methods (Puertas and Marti, 2019; Özdoğan and Civelekoğlu, 2019; Ragazzi et al., 2017; Suwartha et

al., 2013). Among these, the most widely used and the first in sustainable campus applications is the GreenMetric ranking model (Marrone et al., 2018). Among the main reasons for the emergence of the GreenMetric ranking model, there are many factors such as increased environmental issues (water pollution, soil and air pollution, etc.), rapid depletion of non-renewable energy sources, drought resulting from global warming, decrease of biodiversity, changes in seasons and climate, deterioration of ecological balance, etc. In the GreenMetric model put into practice by the University of Indonesia in 2010, green measurement categories and indicators were developed to ensure that higher education institutions were environmentally conscious and sustainable. This model, consisting of 6 main categories and 53 indicators in total, was structured to include issues of environmental and ecological sensitivity, economics, and teaching (Table 1). The indicators were campus placement, substructure, energy and global warming, waste and water management, ecologic transportation opportunities, and teaching, respectively (Kayapınar Kaya et al., 2019). Through this model, it was aimed to raise awareness among university administrators and employees on issues such as “global warming”, “energy”, “water management and saving”, “waste recycling”, and “green transportation and environment”. In campus, by applying some practices such as “saving energy”, “greenhouse gas emission reduction and adaptation policy”, “in-campus carbon footprint rate”, “Green and smart building applications”, and “energy-efficient equipment usage”, which are under the main category of “energy and climate change”, universities aim to reduce the factors that can cause global warming.

3. Smart Campus and Aksaray University

There are many index studies published in the context of Smart Campus. However, not all of the studies conducted touches on all the components of the Smart Campus (Figure 3). Generally, universities around the world and in our country have focused on the GreenMetric model, intelligent environment, and life components within the scope of Boyd Cohen's Smart City Wheel. In addition, there is a wide variety and new research about Smart Campus in the literature (de Souza et al., 2020; Guerrieri et al., 2019; Ardito et al., 2019; Ampudia-Renuncio et al., 2018; Gasco-Hernandez, 2018; Yoshida et al., 2017; Alvarez-Campana et al., 2017; Yaqoob et al., 2017; Liu, 2015; Wu and Yin, 2015).

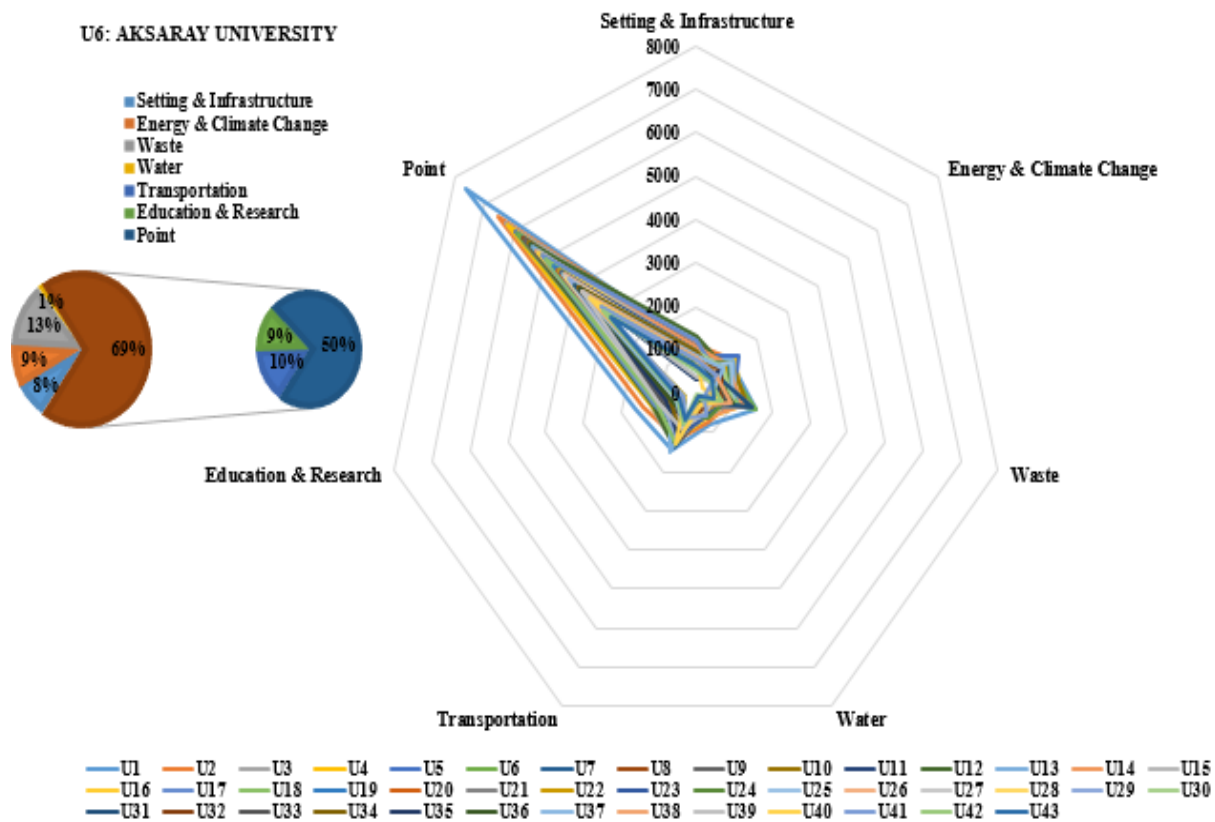


Figure 3. Six-factor GreenMetric model rating of ASU campus

3.1. Water Management and Saving

It is clearly mentioned on international platforms that water scarcity will be one of the major problems of the coming centuries in every region of the world on a global scale, and therefore the lives of billions of people depend on the rational and correct management of water. Today, supplying of water is becoming a major problem due to

some reasons such as the rapid increase of the population, increasing water needs in all areas, unconscious consumption, and the pollution of clean water sources (Amaral et al., 2020; Washington-Ottombre et al., 2018). Therefore, instead of being a pollutant, domestic wastewater has become a source of water that can be used by reevaluating. With their staff, student capacity, classrooms, laboratories, social facilities and dormitories, university campuses are also the areas causing emerging of a significant amount of wastewater. Water management and saving is expressed as the development, distribution, and use of water resources, which are used within the campus, in a planned and programmatic manner. For this purpose, effective use of water should be ensured by establishing a campus water footprint. Green field irrigation is being attempted to apply by recycling the low-contaminated wastewater which is defined as “grey water” in the literature and which originates from the sinks of the units (faculty, refectory, dormitory, administrative unit etc.) in ASU campus (Figure 4). In addition, grey water analysis and treatment methods continue to be developed within the scope of undergraduate theses in the ASU Environmental Engineering Department.

Table 1. GreenMetric model ratings at universities in Turkey (UI GreenMetric, 2019).

University	Setting & Infrastructure	Energy & Climate Change	Waste	Water	Transportation	Education & Research	Puan
U1	1050	1150	1575	800	1425	1600	7600
U2	1100	1200	900	750	1175	1425	6550
U3	1075	1050	1125	525	1325	1200	6300
U4	775	1300	1200	600	1175	1200	6250
U5	850	1400	975	575	1200	975	5975
U6	900	1025	1575	150	1225	1050	5925
U7	975	975	975	450	1400	975	5750
U8	875	975	1050	500	1275	1050	5725
U9	875	1100	900	500	1250	1050	5675
U10	900	1175	1350	200	1325	625	5575
U11	1050	675	1125	450	1225	975	5500
U12	1325	925	450	250	1350	1175	5475
U13	775	1225	1050	100	1525	725	5400
U14	1050	1050	1200	625	625	750	5300
U15	925	800	900	575	1125	925	5250
U16	850	875	975	500	1100	900	5200
U17	1200	700	675	525	925	1100	5125
U18	650	650	1125	200	1275	1075	4975
U19	725	1050	900	350	825	850	4700
U20	900	825	600	500	925	825	4575
U21	850	675	1500	350	800	375	4550
U22	800	975	825	450	950	525	4525
U23	950	475	825	550	1050	625	4475
U24	650	1125	750	650	550	700	4425
U25	525	1150	975	100	1125	525	4400
U26	825	850	675	400	1025	600	4375
U27	875	675	675	350	800	975	4350
U28	850	825	450	250	1125	775	4275
U29	575	575	900	100	1175	900	4225
U30	950	900	975	0	900	300	4025
U31	300	650	1500	200	1075	300	4025
U32	850	800	675	400	750	450	3925
U33	850	650	825	100	600	900	3925
U34	950	650	375	225	975	725	3900
U35	325	825	525	275	1075	825	3850
U36	800	575	975	200	625	675	3850
U37	850	900	375	300	800	550	3775
U38	800	650	900	300	725	400	3775
U39	375	475	450	500	925	1025	3750
U40	775	225	675	300	1275	300	3550
U41	775	650	225	550	650	325	3175
U42	525	450	675	150	800	475	3075
U43	600	500	450	100	700	450	2800

U1:Istanbul Technical University; U2:Erciyes University; U3:Middle East Technical University; U4:Ozyegin University; U5:Cyprus International University; U6:Aksaray University; U7:Zonguldak Bulent Ecevit University; U8:Ege University; U9:Yildiz Technical University; U10:Hitit University; U11:Akdeniz University; U12:Cukurova University; U13:Afyon Kocatepe University; U14:Sabanci University; U15:Ondokuz Mayis University; U16:Bartın University; U17:Ankara University; U18:Cappadocia University; U19:Yeditepe University; U20:Dokuz Eylul University; U21:Anadolu University; U2:Inonu University Malatya; U23:Sivas Cumhuriyet University; U24:TOBB University of Economy and Technology; U25:Istanbul Sabahattin Zaim University; U26:Tokat Gaziosmanpasa University; U27:Bogazici University; U28:Düzce University; U29:Marmara University; U30:Ataturk University; U31:Galatasaray University; U32:Baskent University; U33:Süleyman Demirel University; U34:Kadir Has University; U35:Kto Karatay University; U36:Bolu Abant İzzet Baysal University (BAIBU); U37:Cankaya University; U38:Eskisehir Technical University; U39:Niğde Ömer Halisdemir University; U40 Bilkent University; U41:İğdir Üniversitesi; U42:Kilis 7 Aralık University; U43: Izmir University of Economics

3.2. Waste Control and Zero Waste Applications

The problem of solid waste, which is a big problem on the way to becoming a smart city and is increasing day by day, also creates negativities within the campuses (Abdelaal, 2019; Shuqin et al., 2019). To deal with this negative effect, waste must be managed effectively. The development of recycling methods and techniques for plastic, glass and paper types of waste that can be recycled within the campus is the first step for the waste management. Through the Integrated Waste Management, students and staff of the university should be informed about the methods of disposal of solid wastes emerging in the campus and works should be carried out in all faculties

(Bahçelioğlu et al., 2020; Adeniran et al., 2017). For this purpose, based on zero waste target, applications were carried out in all areas of ASU campus as seen in Figure 5. When these activities are associated with the city where the university is located, it is seen that there is a mutual interaction. Good practices for the collection, transportation, and disposal of waste will serve as an example for the city and will create an encouraging and motivating effect.



Figure 4. Irrigation and landscaping practices at ASU campus



Figure 5. Zero Waste Management Practices at ASU Campus

3.3. Energy Efficiency and Transportation

In fact, what targeted with increasing of energy efficiency and with transportation is to reduce emissions that lead to air pollution to a minimum or even zero if possible. In terms of sustainability, the applications of smart campuses and cities are multifaceted. These are listed as more use of buildings and transportation vehicles that utilize the alternative energy sources and the energy more efficiently and taking measures that will reduce CO₂ emissions (Attard et al., 2020; Ridhosari and Rahman, 2020; Adedeji et al., 2019; Jokinen et al., 2019; Okeniyi et al., 2018). An average of 90% of human life is spent in buildings (home, workplace, etc.); the results of the studies conducted in this context have also revealed that approximately 60% of the world's energy consumption is due to buildings. Therefore, numerous green building certification systems (LEED, BREEAM, etc.) have been developed on an international and national scale (Golbazi et al., 2020; Wang et al., 2020; Ding et al., 2018; Shan and Hwang, 2018;

Tan et al., 2014). Among these systems, LEED stands out compared to other certification programs. As a green building, the library on the ASU campus has been designed in this way and made available to the active use of students 24 hours a day. Within the library, the wireless network system, motion-sensitive lighting and faucet systems, etc. have been used (Figure 6). In addition, by using environment-friendly materials in campus buildings and improving the solid and liquid waste management, contribution to environmentally sensitive and ecological campus applications is ensured. In terms of energy efficiency, it is considered to use exterior solar panels in buildings to be constructed on the ASU campus. In this way, ensuring the savings in electricity and natural gas use is targeted. Besides these, the lighting systems on campus are also energy efficient and the design of the roads has been made in this way. Motion-sensitive, photocell luminaires have been preferred in order to save energy in lighting systems located both indoors and outdoors. Card pass consisting of radio frequency identification (RFID) systems are used in the campus of Aksaray University, in order to provide security and automation for vehicle entrances and exits with building entrances and exits. In addition, there are gas and smoke detectors in all rooms, classes and laboratories in order to ensure fire safety in buildings.



Figure 6. ASU library (green building example) and lighting systems

In order to solve the air pollution problem, multifaceted scientific research projects are presented for creating a clean air space on campus (Mesquita et al., 2020; Yalciner Cal and Aydemir, 2018; Mehta et al., 2017). To ensure clean air space on campus, the use of fossil fuel vehicles needs to be reduced and instead of them, environment-friendly vehicles need to be made prevalent. For this reason, the use of bicycles in on-campus transportation has been made prevalent at the ASU campus (Figure 7). In addition, diverting individuals to public transport is emerging as another alternative. As shown in Figure 7, in addition to ecological practices, directions and gathering points are clearly indicated in the campus in order for the possible various natural disasters such as earthquakes. As a result, for a sustainable environment, it is necessary both to protect nature and to resolve the problems that nature can create in the best way.



Figure 7. Bicycle parking points and emergency meeting area on ASU campus

4. Result and Discussion

In the light of current developments and data, it is a known fact that the cities that are the indicator of civilization today will have important problems if the patterns of life, environment, energy, transportation, and consumption do not change. The most important of the things that need to be done to prevent cities from falling into this situation is to implement the “smart city” approach. In order to achieve this, it is required that the transformation of the University campuses into green and sustainable settlements must be accelerated primarily and they must act as laboratories in the transition of cities to the smart city model. However, one point to be considered here is that basing of both the city and the universities on smart components depends on the human factor. Therefore, it should be ensured that awareness of people is raised about this issue and practices are developed in this direction. In this context, the establishment of network systems to ensure the relations between the city and the university and creating databases are important in terms of the flow of information. Seminars and events should be organized for the city to be impressed from the smart campus practices and the implementation of innovative technologies (green building, solar panels, etc.) for environmental protection, and spreading of them throughout the city should be ensured. In this study, smart campus-related works carried out at the ASU campus were evaluated. In the direction of smart environment and living criteria that are in the Boyd Cohen Wheel, the categories of waste management, transportation, energy and water management in the campus were evaluated in terms of both their impact on the city and the sustainability of the campus. As a result of the investigations, it was concluded that although there are deficiencies in our country regarding the Smart Campus, campuses are of great importance today in terms of being a brand city. As a result, it can be said that because campuses are in various ways model cities, works to be conducted in these areas can set an instance for smart cities as well.

Acknowledgement

This work was supported by Aksaray University Rectorate and Environmental Engineering Department.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Abdelaal, M.S., 2019. Biophilic Campus: An Emerging Planning Approach for a Sustainable Innovation-Conducive University. *Journal of Cleaner Production*, 215, 1445-1456.
- Adedeji, P.A., Akinlabi, S., Madushele, N., 2019. Powering the future university campuses: a mini-review of feasible sources. *Procedia Manufacturing*, 35, 3-8.
- Adeniran, A.E., Nubi, A.T., and Adelopo, A.O., 2017. Solid Waste Generation and Characterization in the University of Lagos for a Sustainable Waste Management. *Waste Management*, 67, 3-10.
- Alvarez-Campana, M., López, G., Vázquez, E. V., Villagrà, V., Berrocal, J., 2017. Smart CEI Moncloa: An Iot-Based Platform for People Flow and Environmental Monitoring On a Smart University Campus. *Sensors*, 17, 2856.
- Amaral, A.R., Rodrigues, E., Gaspar, A.R., Gomes, A., 2020. A Review of Empirical Data of Sustainability Initiatives in University Campus Operations. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119558.
- Ampudia-Renuncio, M., Guirao, B., Molina-Sanchez, R., 2018. The Impact of Free-Floating Carsharing On Sustainable Cities: Analysis of First Experiences in Madrid with The University Campus. *Sustainable Cities and Society*, 43, 462-475.
- Ardito, L., Ferraris, A., Petruzzelli, A. M., Bresciani, S., Giudice, M. D., 2019. The Role of Universities in The Knowledge Management of Smart City Projects. *Technology Forecasting Social Change*, 142, 312-321.
- Attard, M., Camilleri, M.P.J., Muscat, A., 2020. The technology Behind a Shared Demand Responsive Transport System for a University Campus. *Research in Transportation Business & Management*, in press, 100463.
- Bahçelioglu, E., Buğdaycı, E.S., Doğan, N.B., Şimşek, N., Kaya, S.Ö., Alp, E., 2020. Integrated Solid Waste Management Strategy of a Large Campus: A Comprehensive Study on METU Campus, Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 265, 121715.
- Bhatia, S., 2018. Sustainable Smart Universities for Smart Cities. *Journal of Economics, Management and Trade*, 21(12), 1-11.
- Bi, T., Yang, X., Ren, M., 2017. The Design and Implementation of Smart Campus System. *Journal of Computers*, 12(6), 527-533.
- Cohen, B., 2018. “Blockchain Cities and the Smart Cities Wheel” (2019). [Online]. Available: <https://medium.com/iomob/blockchain-cities-and-the-smart-cities-wheel-9f65c2f32c36>
- de Souza, T.B., Alberto, K.C., Barbosa, S.A., 2020. Evaluation of Noise Pollution Related to Human Perception in A University Campus in Brazil. *Applied Acoustics*, 157, 107023.
- Ding, Z., Fan, Z., Tam, V. W. Y., Bian, Y., Li, S., Illankoon, I. M. C. S., Moon, S., 2018. Green Building Evaluation System Implementation. *Building and Environment*, 133.
- Ferraris, A., Belyaeva, Z., Bresciani, S., The Role of Universities in The Smart City Innovation: Multistakeholder Integration and Engagement Perspectives. *Journal of Business Research*, in press.
- Fortes, S., Santoyo-Ramon, J. A., Palacios, D., Baena, E., Mora-Garcia, R., Medina, M., Mora, P., Barco, R., 2019. The Campus as A Smart City: University of Málaga Environmental, Learning, And Research Approaches. *Sensors*, 19, 1349.
- Gascó-Hernandez, M., 2018. Building a Smart City: Lessons from Barcelona. *Communications ACM*, 61, 50-57.
- General Directorate of Geographic Information Systems, 2019. “Smart Cities” (2019). [Online]. Available: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cbs/akillisehirler/>

- Golbazi, M., Danaf, A.E., Aktas, C.B., 2020. Willingness to Pay for Green Buildings: A Survey on Students' Perception in Higher Education. *Energy and Buildings*, 216, 109956.
- Gorgulu, S., Kocabey, S., 2020. An Energy Saving Potential Analysis of Lighting Retrofit Scenarios in Outdoor Lighting Systems: A Case Study for a University Campus. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121060.
- Guerrieri, M., La Gennusa, M., Peri, G., Peri, G., Rizzo, G., Scaccianoce, G., 2019. University Campuses as Small-Scale Models of Cities: Quantitative Assessment of a Low Carbon Transition Path. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109263.
- Hajrasouliha, A., 2017. Campus Score: Measuring University Campus Qualities. *Landscape and Urban Planning*, 158, 166-176.
- Huang, L., Xie, Z., Luo, X. G., 2015. Design and Implementation of Campus, Service Platform. *Science of Surveying and Mapping*, 9, 69-73.
- Jiayu, H., Jiewei, Z., Qiaohui, T., Yang, S., 2019. Application of the Technology in Sponge Campus in China. *International Journal of Architecture, Arts and Applications*, 5, 105-112.
- Jokinen, J.P., Sihvola, T., Mladenovic, M., 2019. Policy Lessons from the Flexible Transport Pilot Kutsuplus in the Helsinki Capital Region. *Transport Policy*, 76, 123-133.
- Kayapınar Kaya, S., Dal, M., Aşkın, A., 2019. Comparison of The Public and Private University Campuses in Turkey in Terms of the Sustainable-Ecological Parameters. *Journal of Balıkesir University Institute of Science and Technology*, 21(1), 106-125.
- Koç, H. E., 2014. Environmental Sustainability of University Campuses: A Practical Assessment Tool. Ph.D. dissertation, Middle East Technical University, Ankara.
- Liu, H. T., 2015. Strategy Research On the Construction of Intelligent Campus in Colleges and University. *China Management Informationization*, 7, 206-207.
- Marrone, P., Orsini, F., Asdrubali, F., Guattari, C., 2018. Environmental Performance of Universities: Proposal for Implementing Campus Urban Morphology as an Evaluation Parameter in Green Metric. *Sustainable Cities and Society*, 42, 226-239.
- Mehta, P., Zhang, X., Thomas, R., Jadhav, N., Lee, J., Conaghan, C., Rawte, R., 2017. Harvesting 3D Multiphysics Modeling Techniques for Smart and Sustainable University Campus. *Energy Procedia*, 143, 851-858.
- Mesquita, A.R., da Silva, T.O., Pitanga, H.N., de Paula dos Santos, A., de Souza, T.D., de Lima e Silva, P., 2020. Guidelines to Design Bicycle Routes On University Campuses: A Case Study at The Federal University of Viçosa. *Case Studies on Transport Policy*, in press.
- Neirotti, P., Marco, A. D., Cagliano, A. C., Mangano, G., Scorrano, F., 2014. Current Trends in Smart City Initiatives: Some Stylised Facts. *Cities*, 38, 25-36.
- Okeniyi, J.O., Atayero, A.A., Popoola, S.I., Okeniyi, E.T., Alalade, G.M., 2018. Smart campus: Data on Energy Generation Costs from Distributed Generation Systems of Electrical Energy in a Nigerian University. *Data in Brief*, 17, 1082-1090.
- Özdoğan, B., Civelekoglu, G., (2019). Üniversite Yerleşkeleri İçin Ulusal Çevresel Sürdürülebilirlik Endeksinin Geliştirilmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(1), 65-80.
- Puertas, R., Marti, L., 2019. Sustainability in Universities: DEA-GreenMetric. *Sustainability*, 11, 3766.
- Ragazzi, M., Ghidini, F. 2017. Environmental Sustainability of Universities: Critical Analysis of a Green Ranking. *Energy Procedia* 119, 111-120.
- Ridhosari, B., Rahman, A., 2020. Carbon Footprint Assessment at Universitas Pertamina from The Scope of Electricity, Transportation, And Waste Generation: Toward A Green Campus and Promotion of Environmental Sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119172.
- Shan, M., Hwang, B., 2018. Green Building Rating Systems: Global Reviews of Practices and Research Efforts. *Sustainable Cities and Society*, 39, 172-180.
- Shuqin, C., Minyan, L., Hongwei, T., Xiaoyu, L., Jian, G., 2019. Assessing Sustainability On Chinese University Campuses: Development of A Campus Sustainability Evaluation System and Its Application with A Case Study. *Journal of Building Engineering*, 24, 100747.
- Suwartha, N., Sari, R., 2013. Evaluating UI Greenmetric as A Tool to Support Green Universities Development: Assessment of The Year 2011 Ranking. *Journal of Cleaner Production*, 61, 46-53.
- Swilling, M., Hajer, M., Baynes, T., Bergesen, J., Labbe, F., Musango, J. K., Ramaswami, A., Robinson, B., Salat, S., Suh, S., Currie, P., Fang, A., Hanson, A., Kruit, K., Reiner, M., Smit, S., Tabory, S., 2018. The Weight of Cities Resource Requirements of Future Urbanization, United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, Technical Report.
- Tan, H., Chen, S., Shi, Q., Wang, L., 2014. Development of Green Campus in China. *Journal of Cleaner Production*, 64, 646-653.
- UI GreenMetric, "Turkey Universities Ranking," (2019). [Online]. Available: <http://greenmetric.ui.ac.id/country-list2019/?country=Turkey>
- Vasileva, R., Rodrigues, L., Hughes, N., Greenhalgh, C., Goulden, M., Tennison, J., 2018. What Smart Campuses Can Teach Us About Smart Cities: User Experiences and Open Data. *Information*, 9, 251.
- Villegas-Ch, W., Palacios-Pacheco, X., Lujan-Mora, S., 2019. Application of A Smart City Model to A Traditional University Campus with A Big Data Architecture: A Sustainable Smart Campus. *Sustainability*, 11, 2857.
- Wang, B., Sun, S., Li, Y., Xie, Y.N., Hou, Y.X., Jin, Q.T., Ren, Y.Y., 2020. Campus Wind Environment Evaluation in North China—A Case Study of NCUT. *Energy Reports*, 6, 787-793.
- Washington-Ottombre, C., Washington, G.L., Newman, J., 2018. Campus Sustainability in The US: Environmental Management and Social Change Since 1970. *Journal of Cleaner Production*, 196, 564-575.
- Wu, Y., Yin, G. H., 2015. Some Thoughts On the Construction of Smart Campus. *Information Computer (Theory)*, 13, 167-178.
- Yalciner Cal, D., Aydemir, E., (2018). Determination of Emergency Assembly Points on Campus: A Case Study of Suleyman Demirel University, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(3), 520-531.
- Yang, J., 2015. Discussion On the Construction Scheme of Intelligent Campus. *Mobile Communication*, 19, 40-44.
- Yaqoob, L., Hashem, L. A. T., Mehmood, Y., Gani, A., Mokhtar, S., Guizani, S., 2017. Enabling Communication Technologies for Smart Cities. *IEEE Communications Magazine*, 55, 112-120.
- Yoshida, Y., Shimoda, Y., Ohashi, T., 2017. Strategies for A Sustainable Campus in Osaka University. *Energy and Buildings*. 147, 1-8.



SU KAYNAKLARINDA VE ŞEBEKELERDE ÇÖZÜNMÜŞ ORGANİK AZOTUN MEVSİMSEL DEĞİŞİMİNİN İZLENMESİ

Cihan ÖZGÜR^{1*}, Deniz BARIŞ², Meltem KAÇIKOÇ², Şehnaz Şule KAPLAN BEKAROĞLU²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sütçüler Prof. Dr. Hasan Gürbüz Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Dezenfeksiyon Yan Ürünleri,
Çözünmüş Organik Azot,
İçme Suyu,
Eğirdir Gölü,
Nitrat.*

Öz

Yüksek sitotoksik ve genotoksik özelliğe sahip azotlu dezenfeksiyon yan ürünlerinin (A-DYÜ) oluşumunda etkisi olduğu için, çözünmüş organik azot (ÇOA) su temininde ve arıtımında son yıllarda önem kazanmıştır. Yapılan uluslararası çalışmalarda tarımsal faaliyetler, evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları, alg faaliyetlerinin artması gibi nedenlerle içme suyu kaynaklarında organik azot konsantrasyonlarının arttığı tespit edilmiştir. Çalışmanın ana amacı farklı su kaynaklarında ve içme suyu şebekelerinde ÇOA'nın mevsimsel değişiminin izlenmesidir. Eğirdir Gölü ve Karaağaç Su Kaynağı olmak üzere 2 farklı içme suyu kaynağı ve Isparta, Konyaaltı ve Kumluca içme suyu şebekeleri olmak üzere 3 farklı su şebekesinde bir yıl süre ile aylık olarak azot türleri izlenmiştir. Eğirdir Gölü için en yüksek ve en düşük ÇOA değerleri sırasıyla 0,74 ve 0,15 mg/L olarak ölçülmüştür. Karaağaç doğal su kaynağı için en yüksek ve en düşük ÇOA değerleri sırasıyla 0,58 ve 0,09 mg/L olarak ölçülmüştür. Eğirdir Gölü için sonbahar aylarında ÇOA değeri daha yüksektir ve 0,74 mg/L'dir. Şebekelerde en yüksek ÇOA değeri Isparta, Konyaaltı ve Kumluca için sırasıyla 0,37; 0,39 ve 0,14 mg/L'dir. A-DYÜ oluşum potansiyeli düşük ÇOK/ÇOA oranına sahip sularda yüksek olduğu rapor edilmiştir. Çalışma kapsamında test edilen kaynaklarda ÇOK/ÇOA oranı oldukça düşüktür. A-DYÜ oluşumuna sebep olmasının yanı sıra, membranların tıkanmasına sebep olduğu ve konvansiyonel arıtma işlemleri ile giderilemediği için ÇOA değerlerinin içme suyu kaynaklarında ve şebekelerde izlenmesi önem kazanmaktadır.

SEASONAL MONITORING DISSOLVED ORGANIC NITROGEN IN DIFFERENT DRINKING WATER RESOURCES AND DISTRIBUTION SYSTEMS

Keywords

*Disinfection By-Products,
Dissolved Organic Nitrogen,
Drinking Water,
Egirdir Lake,
Nitrate.*

Abstract

As it is the precursor of nitrogenous disinfection by-products (N-DBPs) with high cytotoxic and genotoxic properties, dissolved organic nitrogen (DON) has gained importance in water supply and treatment in recent years. In recent studies, it was determined that DON concentrations in drinking water resources increased due to reasons such as agricultural activities, domestic and industrial wastewater discharges and increase of algae activities. The main purpose of this study is to determine the seasonal variation of DON in different water sources and drinking water systems. Two different drinking water sources, namely Egirdir Lake and Karaagac Water Source and three different water distribution systems, namely Isparta, Konyaaltı and Kumluca, were monitored monthly for one year. The highest and lowest DON values for Egirdir Lake were 0.74 and 0.15 mg/L, respectively. The highest and lowest DON values for Karaagac water source were measured as 0.58 and 0.09 mg/L, respectively. For Egirdir Lake, the DON is higher for the autumn months and DON value was 0.78 mg/L. In the water distribution systems, the highest DON values for Isparta, Konyaaltı and Kumluca were 0.37; 0.39 and 0.14 mg/L, respectively. It has been reported that N-DBPs formation potential is high in waters with low DOC/DON ratio. In the tested water sources in this study, the

* İlgili yazar / Corresponding author: cihanozgur@isparta.edu.tr, +90-246-351-2900

DOC/DON ratio was very low. In addition to formation of N-DBPs, it is important to monitor the DON values in drinking water sources and water distribution systems due to cause membrane fouling and cannot be removed after conventional water treatment.

Alıntı / Cite

Özgür, C., Barış, D., Kaçıkoc, M., Kaplan Bekaroğlu, Ş.Ş., (2020). Su Kaynaklarında ve Şebekelerde Çözünmüş Organik Azotun Mevsimsel Değişiminin İzlenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 961-972.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

C. Özgür,0000-0001-6085-1585

D. Barış, 0000-0001-6085-1585

M. Kaçıkoc, 0000-0002-9526-7992

Ş.Ş. Kaplan Bekaroğlu, 0000-0003-0917-7219

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 20.05.2020

Revizyon Tarihi / Revision Date 10.07.2020

Kabul Tarihi / Accepted Date 24.08.2020

Yayın Tarihi / Published Date 24.09.2020

1. Giriş (Introduction)

İçme suyu arıtma tesislerinin karşı karşıya kaldığı en önemli problemlerden biri mutajenik ve karsinojenik olan dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DYÜ) oluşumu ve kontrolüdür. Dezenfeksiyon sürecinde suda bulunan doğal organik maddeler (DOM) ve inorganik maddeler (Br^- , I^- , NO_2^- gibi) ile dezenfektanlar reaksiyona girerek DYÜ'leri oluşturmaktadır (Bond vd., 2014). DOM, çözünmüş organik karbon (ÇOK) ve çözünmüş organik azot (ÇOA) bileşenlerini içeren heterojen bir karışımdır (Hu vd., 2017). Karakteristik fonksiyonel gruplarına göre DYÜ'ler, karbonlu DYÜ (K-DYÜ) ve azotlu DYÜ (A-DYÜ) olarak iki temel sınıfa ayrılabilir. Yapılan yeni toksikoloji çalışmalarına göre A-DYÜ'ler çok düşük konsantrasyonlarda oluşmalarına rağmen, K-DYÜ'lerden çok daha sitotoksik ve genotoksiktir (Xue vd., 2014). Bugüne kadar yapılan DYÜ oluşumuna sebep olan öncül maddeler ile ilgili çalışmalarda, K-DYÜ oluşumu ÇOK ile ilişkilendirilmekte iken, A-DYÜ'lerin oluşumu ise ÇOA ile ilişkilendirilmektedir (Lee vd., 2007). Yönetmeliklerde yer almayan haloasetonitril (HAN), haloasetamidler (HAcAm) ve nitrosamin gibi A-DYÜ türlerinin en önemli öncül maddelerinden biri protein, peptit, amino asit gibi azotlu bileşenleri içeren ÇOA olduğu rapor edilmiştir (Krasner vd., 2013; Du vd., 2017). A-DYÜ türü olan nitrosodimetilamin (NDMA) için yapılan oluşum potansiyeli testlerinde artan ÇOA konsantrasyonu ile NDMA konsantrasyonunda artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir (Uzun vd., 2015). Özellikle klorlama sürecinde ÇOA'nın A-DYÜ oluşumunda öncül madde olarak rol oynadığı yapılan çalışmalarda belirtilmiştir. (Lu vd., 2015). Sularda tespit edilen ÇOK/ÇOA oranının, A-DYÜ oluşum potansiyelini tahmin etmek amacıyla kullanılabilmesi ve bu oran ile A-DYÜ türleri oluşumu arasında pozitif korelasyon olduğu literatürde belirtilmiştir (Lee vd., 2007; Hua vd., 2015; Bazri vd., 2016; Kristiana vd., 2017). ÇOK/ÇOA oranı azaldıkça A-DYÜ oluşumu artmaktadır. Bu oranın azalması ÇOK içerisindeki ÇOA oranının artmasından kaynaklanmaktadır (Hua vd., 2015). Doğal sularda çok düşük miktarlarda bulunmasına rağmen, A-DYÜ oluşumundan öncül madde olan ÇOA, içme suyu temininde ve arıtımında giderek daha çok önem kazanan bir parametredir (Hu vd., 2017).

ÇOA varlığı, A-DYÜ oluşumuna sebep olmasının yanı sıra, membranların tıkanmasına da sebep olmaktadır. Ayrıca konvansiyonel arıtma işlemleri ile giderilemediği için ÇOA konusunda özellikle içme suyu arıtma sektöründe araştırmalara hız verilmiştir (Lin vd., 2018). Bir su kalitesi parametresi olarak ÇOA, özellikle A-DYÜ türlerinin oluşmasında ve türleşmesinde son derece önemlidir. Çalışmamızın ana amacı farklı su kaynaklarında ve içme suyu şebekelerinde ÇOA konsantrasyonlarının mevsimsel izlenmesidir. Çalışma kapsamında Isparta, Konyaaltı (Antalya) ve Kumluca (Antalya) içme suyu şebekelerinden ve Eğirdir ve Kumluca su kaynaklarında bir yıl boyunca (2014-Kasım/2015-Ekim) azot türleri ve ÇOK parametrelerinin izleme çalışması yapılmıştır. Isparta içme suyu şebekesi su kaynağı olarak Eğirdir Gölü'nü (Şener vd., 2019), Konyaaltı (Antalya) içme suyu şebekesi su kaynağı olarak yeraltı su kaynaklarını, Kumluca (Antalya) içme suyu şebekesi ise Karaağaç doğal su kaynağını kullanmaktadır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Mikrobiyal kaliteyi sağlamak için ilk dezenfeksiyon uygulaması M.Ö. 4000'li yıllarda gerçekleştirilen kaynatma işlemidir. Mikrobiyal kaliteyi arttırmak için kimyasal dezenfektan kullanımı ise ilk kez 20.yy'da başlamıştır (Mishra vd.,2016). Klor, yüksek oksidasyon etkinliği ve düşük maliyetinden dolayı dünya genelinde en yaygın kullanılan kimyasal dezenfektan türüdür (Kumari ve Gupta,2015). Su dağıtım sistemlerinde mikrobiyal kalite için dezenfeksiyon prosesi gerekli iken, dezenfeksiyon sonucu oluşan ve halk sağlığını olumsuz etkileyen yan ürünlere dikkat edilmelidir (Al-Omari vd., 2014). DYÜ terimi ilk kez 1970'li yılların başlarında dezenfektan olarak kullanılan klor ile sularda doğal olarak bulunan DOM arasındaki tepkime sonucu oluşan kimyasal yan ürün olarak ortaya çıkmıştır (Rook, 1974). Bugüne kadar sularda yaklaşık 800 DYÜ türü tespit edilmiştir (Bond vd., 2012; Ding ve Chu, 2017). Ülkemizde ise 17 Şubat 2005 tarihli 25730 sayılı Resmî Gazete'de Sağlık Bakanlığının yayınlamış olduğu "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik"te içme ve kullanma sularında bulunması gereken maksimum toplam Trihalometan (THM) konsantrasyonu 100 µg/L olarak belirlenmiştir.

Toksikolojik çalışmalara göre DYÜ türlerinin her birinin sağlık üzerindeki etkisi farklıdır. A-DYÜ türleri üzerine yapılan toksikolojik çalışmalar son zamanlarda artmıştır (Hu vd., 2018). Yapılan çalışmalarda Halonitrometan (HNM) türlerinin THM'den 440 kat daha fazla sitotoksik, haloasetik asit (HAA)'den ise 100 kat daha fazla sitotoksik ve 9 kat daha fazla genotoksik olduğu tespit edilmiştir. HAN ise THM'den 320 kat daha fazla sitotoksik, HAA'den 73 kat daha fazla sitotoksik ve HAA'den 20 kat daha fazla genotoksiktir (Chhipi-Shrestha vd., 2018). A-DYÜ'lerin öncül maddesi olarak ilişkilendirilen ÇOA, DOM'ların ağırlıkça %1-10'una eşdeğerdir (Bazri vd., 2016). ÇOA, amino asitler, amino şekerler, amidler, peptidler ve heterosiklik-azot bileşiklerinden (örn., pirimidin, imidazol, pürin ve porfirinler) oluşan kompleks bir karışımdır. Tarımsal faaliyetler, evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları, alg faaliyetlerinin artması gibi nedenlerle içme suyu kaynaklarındaki ÇOA konsantrasyonları artmaktadır (Lu vd., 2015). Yüzeysel sularında tipik olarak 0,1 ile 10 mg N/L aralığında ve ortalama 0,3 mg N/L konsantrasyonunda ÇOA bulunmaktadır (Lee vd., 2007). Toplam 28 içme suyu arıtma tesisinde ortalama ÇOA konsantrasyonu ham su ve arıtılmış su için sırasıyla 0,19 ve 0,15 mg N/L olarak tespit edilmiştir. Ham sular için ortalama ÇOK/ÇOA oranı 18 mg C/mg N olarak rapor edilmiştir (Westerhoff vd., 2006). Chang vd., (2013) gerçekleştirdikleri mevsimsel izleme çalışmasında yüzeysel su kaynağında ÇOA konsantrasyonunun yıllık ortalamasını 0,53 mg/L olarak tespit etmişlerdir. Chu vd., (2013) çalışmalarında yedi farklı su kaynağında ÇOA konsantrasyonunu 0,098-0,65 mg/L aralığında tespit etmişlerdir. Gan vd., (2013) çalışmalarında üç farklı yüzeysel su kaynağından topladıkları su numunelerinde ÇOA konsantrasyonlarını yüzeysel su kaynaklarının birinde ölçülebilir aralıkta tespit edemezken, diğer iki yüzeysel su kaynağında ise ÇOA konsantrasyonları 0,1-0,3 mg/L aralıklarında hesaplanabilmiştir. Fan vd., (2014) iki farklı su kaynağında gerçekleştirdikleri çalışmada ÇOA değerlerini 0,67 ve 0,15 mg/L olarak tespit etmişlerdir. Uzun vd., (2015) çalışmalarında ÇOA konsantrasyonunu 0,1-0,39 mg/L aralığında bulmuşlardır. Tan vd. (2017) çalışmalarında yüzeysel sulara ÇOA konsantrasyonunu 0,24-0,57 mg/L aralığında tespit edebilmişlerdir. Kristiana vd. (2017) çalışmalarında yüzeysel sulara ÇOA konsantrasyonunu 0,04-0,39 mg/L aralığında, yeraltı sularında ise ÇOA konsantrasyonunu 0,04-0,06 mg/L aralığında tespit edebilmişlerdir. Ülkemizde içme suyu kaynaklarında ve şebekelerde ÇOA verisinin tartışıldığı çalışmalara yazarlar tarafından rastlanmamıştır ve bu çalışma ile birlikte literatürdeki bir boşluğun doldurulması hedeflenmektedir.

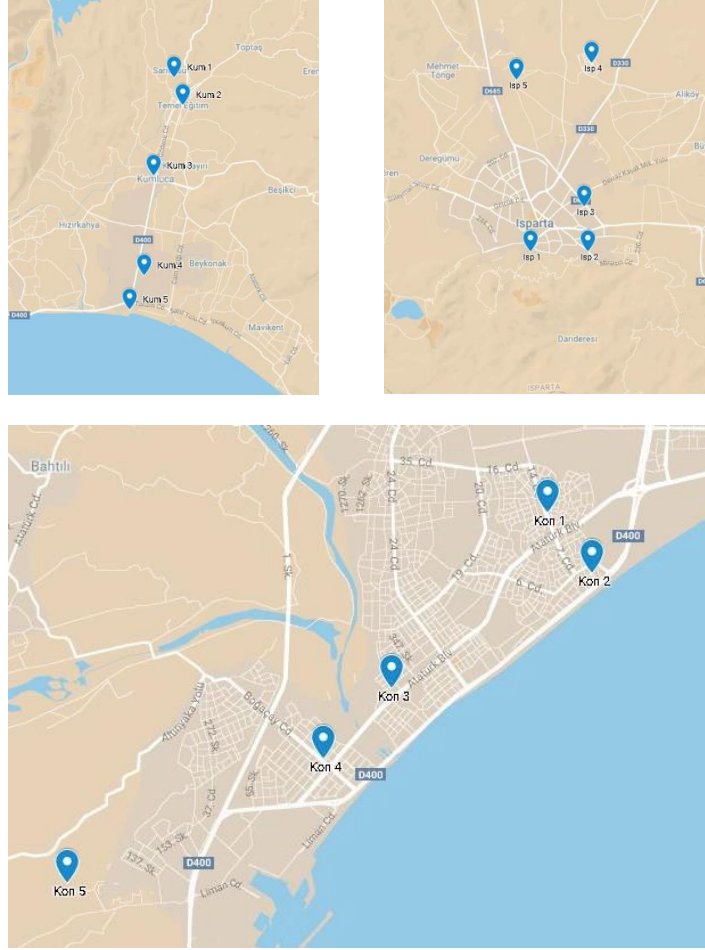
3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Numune Alma Noktaları (Sampling Points)

Su numuneleri 2014 yılı Kasım ayı ile 2015 yılı Ekim periyodundaki 12 ay boyunca aylık olarak 2 farklı içme suyu kaynağı ve 3 farklı içme suyu dağıtım şebekesinden alınmıştır. 2 farklı su kaynağı olarak Eğirdir Gölü ve Karaağaç su kaynağı kullanılmıştır. Isparta, Konyaaltı (Antalya) ve Kumluca (Antalya) içme suyu şebekesinden olmak üzere 3 farklı şebeke çalışma kapsamında incelenmiştir. Şebekelere su temin eden arıtma tesislerinde dezenfektan olarak klor kullanılmaktadır. Numune alma noktaları şebekeyi doğru temsil etmesi açısından şebeke başından (arıtma tesisine en yakın tüketici), sonundan (arıtma tesisine en uzak tüketici) ve ortasından (en yoğun su kullanım bölgeleri) olmak üzere toplam beş farklı nokta olarak belirlenmiştir. Her bir numunede aylık olarak toplam azot, nitrit, nitrat ve amonyum azotu ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tüm numuneler her ayın ikinci haftası, su kullanımının en yoğun olduğu saatlerde toplanmıştır (12:00-17:00). Tüm analizler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve standart sapma ÇOK için 0,1'den diğer parametreler için ise 0,01'den küçük tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında alınan numuneler Şekil 1'de, numune alma koordinatları ise, Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. İçme suyu şebekelerinde numune alma noktalarının koordinatları (Coordinates of sampling points in drinking water distribution systems)

Numune Adı	Koordinat	
	Enlem	Boylam
Isparta1	37°45'5.79"K	30°33'5.90"D
Isparta2	37°45'6.38"K	30°34'42.14"D
Isparta3	37°46'4.55"K	30°34'35.88"D
Isparta4	37°49'8.06"K	30°32'0.48"D
Isparta5	37°49'13.83"K	30°34'46.94"D
Antalya1	36°52'56.00"K	30°38'58.01"D
Antalya2	36°52'29.68"K	30°39'21.96"D
Antalya3	36°51'40.67"K	30°37'32.79"D
Antalya4	36°51'9.62"K	30°36'56.33"D
Antalya5	36°49'25.66"K	30°33'22.55"D
Kumluca1	36°23'58.24"K	30°17'42.09"D
Kumluca2	36°23'42.86"K	30°17'54.67"D
Kumluca3	36°22'3.01"K	30°17'8.68"D
Kumluca4	36°19'48.17"K	30°16'47.93"D
Kumluca5	36°18'58.71"K	30°16'21.56"D



Şekil 1. Kumluca, Isparta ve Konyaaltı içme suyu şebekeleri numune alma noktaları (Sampling points of Kumluca, Isparta and Konyaaltı distribution systems)

3.2. Analitik Yöntemler (Analytical Methods)

ÇOA parametresinin direkt ölçüm metodu mevcut değildir ve toplam çözülmüş azot (TÇA) değerlerinden toplam çözülmüş inorganik azot (TÇİA) değerlerinin çıkartılması ile hesaplanır. Diğer bir yöntem ise ölçülen Kjeldahl azotu değerinden amonyak azotunun çıkartılmasıdır. TÇİA değeri nitrit, nitrat ve amonyum azotunun toplamıdır. TÇİA/TÇA oranlarının yüksek olması durumunda, her bir azot türünün bireysel olarak ölçümünden kaynaklanan kümülatif analitik hatalar oluşabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek TÇİA/TÇA oranlarına sahip numuneler için TÇİA gideriminin yapıldığı diyaliz bazlı ön arıtma yöntemi kullanılmaktadır ve daha güvenilir ÇOA değerleri elde edilmektedir. Çalışma kapsamında toplam azot (TA) ölçümleri, TA ölçüm ünitesine sahip olan toplam organik karbon cihazında (Shimadzu TOC-L) ölçülmüştür. Nitrit ve nitrat ölçümleri Dionex DX-600, AAES supresorlu iyon kromatografisi (IC) kullanılarak USEPA Metot 300'e göre yapılmıştır (USEPA, 1993). Amonyum azotu ise Standart Metot 4500-NH₃'ye (APHA, 1998) eşdeğeri olan salisilat metodu kullanılmıştır. HACH LANGE LCK 303 kiti kullanılarak HACH DR 5000 cihazında 694 nm'de ölçüm yapılmıştır. Analitik yöntemler ve tespit limitleri, Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Analitik yöntemler ve tespit limitleri (Analytical methods and detection limits) (Özgür, 2019)

Parametre	Ölçüm Metodu	Cihaz	Tespit Limiti
Toplam Azot	Yüksek sıcaklıkta yakma	TOC-L CPH & NHM-1,	0,01 mg/L
Nitrat ve Nitrit	USEPA Metot 300	Dionex ICS-3000	0,01 mg/L
Amonyum Azotu	SM 4500-NH ₃ F	HACH Test Kit	0,015 mg/L
Çözülmüş Organik Karbon	SM* 5310B	TOC-L CPH Shimadzu	0,1 mg/L

ÇOA hesaplanmasında kullanılan eşitlikler Denklem 1 ve Denklem 2'de gösterilmektedir.

$$\text{ÇOA} = \text{TA} - \text{TİA} \quad (1) \text{ (Kaplan Bekaroğlu, 2013)}$$

$$\text{ÇOA} = \text{TA} - [\text{Nitrit Azotu}] - [\text{Nitrat Azotu}] - [\text{Amonyum Azotu}] \quad (2) \text{ (Kaplan Bekaroğlu, 2013)}$$

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

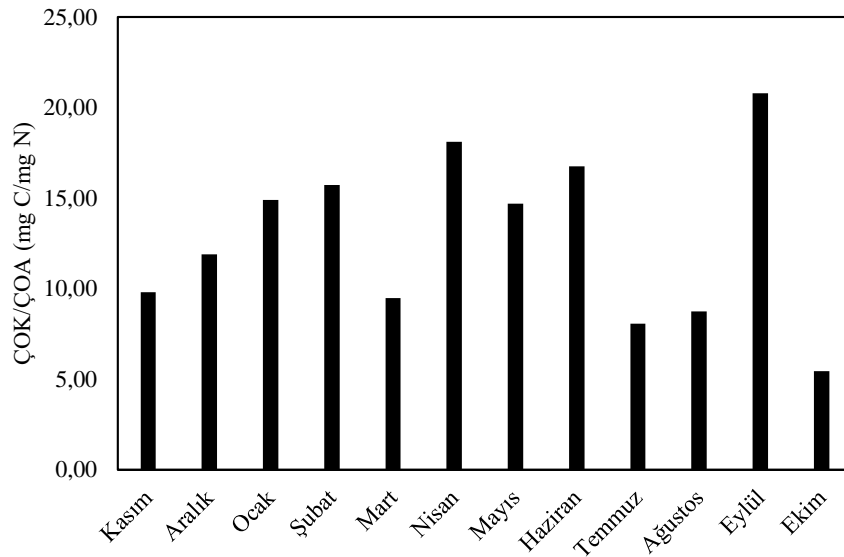
4.1. İçme suyu Kaynaklarında Azot Türlerinin Değişimi (Change of Nitrogen Species in Drinking Water Source)

Su kalitesi değerlendirilmesi bakımından su kaynaklarında azot türlerinin izlenmesi önemlidir. Özellikle su kaynaklarında nitrat kirliliği ile ilgili çalışmalar oldukça fazladır ve özellikle tarımsal ve atıksu deşarjından kaynaklı nitrat kirliliği konusunda çalışmalar devam etmektedir. Nitrat kirliliğinin tespiti ve azaltılması; zor, zaman alıcı ve maliyetlidir. Su kaynaklarında azot, özellikle ötrofikasyon durumunun belirlenmesinde çok önemlidir. Bu çalışmanın temel amacı organik azotun değerlendirilmesi olmasına rağmen, tespit edilen diğer azot türleri ile ilgili değerlendirmeler de eklenmiştir. Tablo 3'te Eğirdir Gölü için azot türleri ve ÇOK'un bir yıllık izleme süresince değişimi gösterilmiştir. Eğirdir Gölü için en yüksek, en düşük ve ortalama TA değerleri sırasıyla 0,78; 0,33 ve 0,47 mg/L olarak ölçülmüştür. Sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimleri ortalama TA değerleri ise sırasıyla 0,54; 0,43; 0,51 ve 0,41 mg/L olarak belirlenmiştir. Sonbahar ve İlkbahar aylarında ortalama %30'luk bir artış gözlenmiştir. Bu artışın sebebi tarımsal kullanımda o dönemlerde azotlu gübrelerin kullanımı ve azotun taşınımı ile açıklanabilir. Ölçülen değerler literatürde yapılan yeni çalışmalar ile uygunluk göstermektedir. Bulut ve Kubilay (2018) yaptıkları çalışmada trofik durum indeksleriyle belirlemek amacıyla farklı noktalarda TA ölçümü yapmışlardır ve Eğirdir Gölü TA ölçümleri 0,56-0,76 (ort: 0,63) mg/L arasında tespit etmişlerdir. Çalışmamız süresince ölçülen yüksek değeri 0,78 mg/L'dir. "Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği"ne göre eğer TA 3,5 mg/L'nin altında ise Su Kalite Sınıfı I (Çok İyi)'dir (YSKY, 2012). Alg üretimi ve ötrofikasyon açısından özellikle fosfat elementi ile birlikte azot göl su kalitesi için son derece önemlidir ve TA parametresinin mutlak surette izlenmesi ve kaynağında kontrol altına alınmasının önemli olduğunu literatürde bildirilmiştir (Bulut ve Kubilay,2018). Eğirdir Gölü nitrat azotu en yüksek değer 1,28 mg NO_3^- -N/L olarak Nisan ayında gözlenmiştir. Literatürde Eğirdir Gölü için nitrat değerleri 0,4 – 4,23 mg/L, nitrit değerleri 0,02-0,08 mg/L arasında ölçülmüştür (Güneş vd., 2011). "Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği" ne göre ise 3 mg/L'nin altında olan kaynaklar Su Kalite Sınıfı I (Çok İyi) olarak belirtilmiştir. Eğirdir Gölü'nde ölçülen nitrit ve amonyum konsantrasyonları numune alma dönemi boyunca ölçülebilir seviyelerin altında olduğu gözlenmiştir.

Yapılan bir yıllık izleme sonucunda hesaplanan en düşük ve en yüksek ÇOA değerleri 0,20 ve 0,74 mg/L, yıllık ortalama ÇOA değeri ise 0,34 mg/L olarak ölçülmüştür. Sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde tespit edilen ÇOA değerleri sırasıyla 0,45; 0,33; 0,28 ve 0,29 mg/L'dir. Tarımsal gübrelerdeki azot ve atık su deşarjları ÇOA'nın birincil kaynaklarıdır. Özellikle organik azot konsantrasyonu açısından atıksu deşarjları oldukça önemlidir. Evsel atıksuda 8-35 mg/L aralığında organik azot bulunmaktadır ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan atıksu artıma yöntemleri ile inorganik azot (nitrifikasyon/denitrifikasyon ile) giderimi yapıldığı için organik azot tesis çıkış sularında yüksek oranlarda tespit edilebilmektedir. Bu sebeple her ne kadar istenirse de atıksu deşarjları içme suyu kaynaklarına ulaşabiliyorsa ÇOA açısından da oldukça dikkat edilmesi gereken bir durumdur. Göllerde ÇOA değişimi, mevsimsel ötrofikasyon ile ilişkilendirilebilmektedir. Ülkemiz için ÇOA parametresi bazında yeterli veri olmamasına rağmen, uluslararası literatürde yerüstü su kaynakları için rapor edilen ÇOA konsantrasyonları <0,1 ila >10 mg N/L arasındadır ve medyan değeri ~0,3 mg – 10 mg N/L'dir. Konvansiyonel içme suyu arıtma tesislerinde ÇOA giderim oranları oldukça düşüktür ve DYÜ oluşumu ve membran tıkanmasına sebep olduğu için su arıtımında ÇOA artarak önem kazanan bir parametredir. Suda bulunan ÇOK/ÇOA oranı, A-DYÜ oluşum potansiyelini kabaca tahmin etmek amacıyla kullanılabilir gibi, amino şeker/aromatik oranı ile de A-DYÜ oluşum potansiyeli arasında pozitif bir korelasyon mevcuttur (Lee vd., 2007; Hua vd., 2015). Şekil 2'de Eğirdir gölü 2014 Kasım-2015 Ekim döneminde ÇOK/ÇOA değerleri gösterilmektedir. ÇOK/ÇOA değerleri 6,1-17,4 mg C/mg N arasında değişmektedir. Düşük ÇOK/ÇOA oranı A-DYÜ oluşum potansiyelinin fazla olabileceğinin bir göstergesidir. ABD'de yapılan bir çalışmada ham sular için ortalama ÇOK/ÇOA oranı 18 mg C/mg N olarak rapor edilmiştir (Westerhoff vd., 2006). Düşük ÇOK/ÇOA değerine sahip su kaynaklarında dezenfeksiyon prosesinin optimizasyonu önemlidir. Hem A-DYÜ oluşumu kontrol edilmeli hem de mikrobiyal kaliteden taviz verilmemelidir. Bu durumda dezenfeksiyon prosesi öncesi ÇOA giderim yöntemleri araştırılabilir ve/veya A-DYÜ oluşumunu azaltabilecek alternatif dezenfektanlar seçilebilir. Eğirdir Gölü'nün içme suyu kaynağı olduğu dikkate alındığında ÇOA verisinin izlenmesi ve değerlendirilmesi DYÜ oluşumu açısından dikkat edilmesi gereken bir parametre olduğu açıktır.

Tablo 3. Eğirdir gölü için azot türlerinin mevsimsel değişimi (Seasonal variation of nitrogen species for Eğirdir lake)

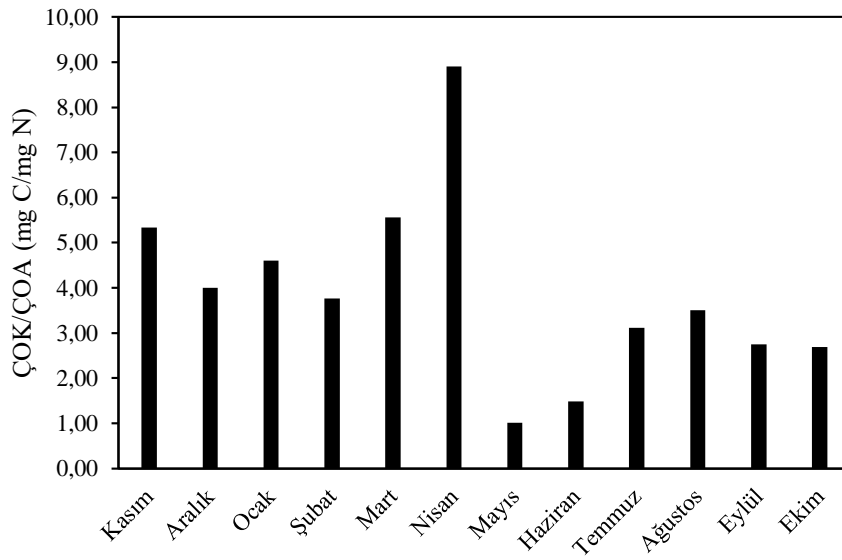
	TA (mg/L)	Standart Sapma	Nitrat (mg/L)	Standart Sapma	ÇOA (mg/L)	Standart Sapma	ÇOK (mg/L)	Standart Sapma
Kasım	0,41	<±0,01	0,28	<±0,01	0,35	<±0,01	3,43	<±0,1
Aralık	0,39	<±0,01	0,32	<±0,01	0,32	<±0,01	3,81	<±0,1
Ocak	0,41	<±0,01	0,80	<±0,01	0,23	<±0,01	3,43	<±0,1
Şubat	0,41	<±0,01	0,80	<±0,01	0,23	<±0,01	3,62	<±0,1
Mart	0,54	<±0,01	0,58	<±0,01	0,41	<±0,01	3,89	<±0,1
Nisan	0,49	<±0,01	1,28	<±0,01	0,20	<±0,01	3,62	<±0,1
Mayıs	0,49	<±0,01	0,50	<±0,01	0,24	<±0,01	3,53	<±0,1
Haziran	0,33	<±0,01	1,08	<±0,01	0,21	<±0,01	3,52	<±0,1
Temmuz	0,51	<±0,01	0,31	<±0,01	0,44	<±0,01	3,55	<±0,1
Ağustos	0,38	<±0,01	0,31	<±0,01	0,31	<±0,01	2,71	<±0,1
Eylül	0,42	<±0,01	0,20	<±0,01	0,15	<±0,01	3,12	<±0,1
Ekim	0,78	<±0,01	0,22	<±0,01	0,74	<±0,01	4,02	<±0,1

**Şekil 2.** Eğirdir gölü Kasım-Ekim döneminde hesaplanan ÇOK/ÇOA değerleri (DOC/DON values calculated in Eğirdir lake in November-October period)

Tablo 4’de Karaağaç su kaynağı için azot türlerinin değişimi gösterilmiştir. Karaağaç su kaynağı en yüksek ve en düşük TA değerleri 0,59 ve 0,25 mg/L olarak bulunmuştur. Sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimleri için ortalama TA değerleri 0,49; 0,39; 0,43 ve 0,36 mg/L’dir. En yüksek, en düşük ve ortalama nitrat değerleri sırasıyla 1,7; 0,54 ve 1,15 mg/L olarak tespit edilmiştir. En yüksek ve en düşük ÇOA değerleri 0,58 ve 0,09 mg/L, yıllık ortalama ÇOA değeri 0,20 mg/L olarak bulunmuştur. Mevsimsel ortalama ÇOA değerleri sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimleri için sırasıyla 0,23; 0,11; 0,26 ve 0,19 mg/L olarak tespit edilmiştir. Karaağaç su kaynağında ölçülen nitrit ve amonyum azotu konsantrasyonları numune alma dönemi boyunca tespit limitlerinin altındadır. Karaağaç su kaynağı bir kaynak suyudur ve su kalitesi bakımından “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” kapsamındadır. Yönetmelik kapsamında nitrit azotu ve nitrat azotu gösterge parametrelerdendir. Nitrat azotu için müsaade edilen en yüksek değer 50 mg/L, nitrit azotu için müsaade edilen en yüksek değer ise 0,5 mg/L’dir (İTASHY, 2005). Karaağaç su kaynağında izlenen en yüksek nitrat konsantrasyonu 1,7 mg/L’dir. Eğirdir Gölü ile karşılaştırıldığı zaman, TA değerleri nispeten düşük (ortalama %10 daha az) iken, nitrat değerleri oldukça yüksektir. Bu sebeple Karaağaç su kaynağı daha düşük ÇOA değerlerine sahiptir. Ayrıca Eğirdir Gölü’nde ÇOK değerleri ortalama 3,5 mg/L iken, Karaağaç su kaynağı için 0,6 mg/L’dir. Şekil 3’te Karaağaç su kaynağı Kasım-Ekim döneminde ÇOK/ÇOA değerleri gösterilmiştir. ÇOK/ÇOA değerleri 1-8,9 mg C/mg N arasında değişmektedir. Düşük ÇOK değerlerine sahip olduğu için Eğirdir Gölü ile karşılaştırıldığı zaman daha düşük ÇOK/ÇOA oranları gözlenmiştir. Düşük ÇOK/ÇOA oranı A-DYÜ oluşum potansiyelinin fazla olabileceğinin bir göstergesi olabilmektedir.

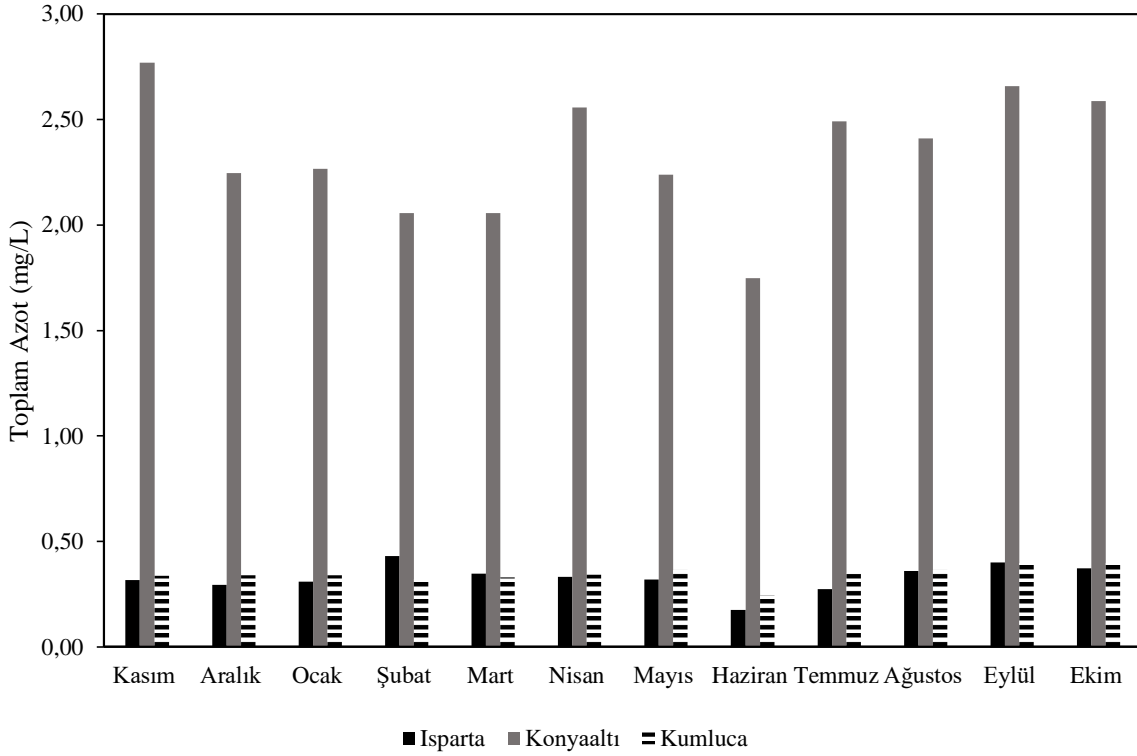
Tablo 4. Karaağaç suyu kaynağı için azot türlerinin mevsimsel değişimi (Seasonal variation of nitrogen species for Karaagac water source)

	TA (mg/L)	Standart Sapma	Nitrat (mg/L)	Standart Sapma	ÇOA (mg/L)	Standart Sapma	ÇOK (mg/L)	Standart Sapma
Kasım	0,34	<±0,01	1,11	<±0,01	0,09	<±0,01	0,48	<±0,1
Aralık	0,35	<±0,01	1,79	<±0,01	0,11	<±0,01	0,44	<±0,1
Ocak	0,41	<±0,01	1,10	<±0,01	0,10	<±0,01	0,46	<±0,1
Şubat	0,40	<±0,01	1,20	<±0,01	0,13	<±0,01	0,49	<±0,1
Mart	0,35	<±0,01	1,16	<±0,01	0,09	<±0,01	0,50	<±0,1
Nisan	0,36	<±0,01	1,09	<±0,01	0,11	<±0,01	0,98	<±0,1
Mayıs	0,58	<±0,01	1,11	<±0,01	0,58	<±0,01	0,59	<±0,1
Haziran	0,25	<±0,01	0,54	<±0,01	0,25	<±0,01	0,37	<±0,1
Temmuz	0,44	<±0,01	1,16	<±0,01	0,18	<±0,01	0,56	<±0,1
Ağustos	0,40	<±0,01	1,16	<±0,01	0,14	<±0,01	0,49	<±0,1
Eylül	0,54	<±0,01	1,15	<±0,01	0,28	<±0,01	0,77	<±0,1
Ekim	0,59	<±0,01	1,22	<±0,01	0,32	<±0,01	0,86	<±0,1

**Şekil 3.** Karaağaç doğal su kaynağı için Kasım-Ekim döneminde ÇOK/ÇOA değerleri (DOC/DON values for Karaağaç natural water source in November-October period)

4.2. İçme suyu şebekelerinde azot türlerinin değişimi (Change of Nitrogen Species in Drinking Water Distribution Systems)

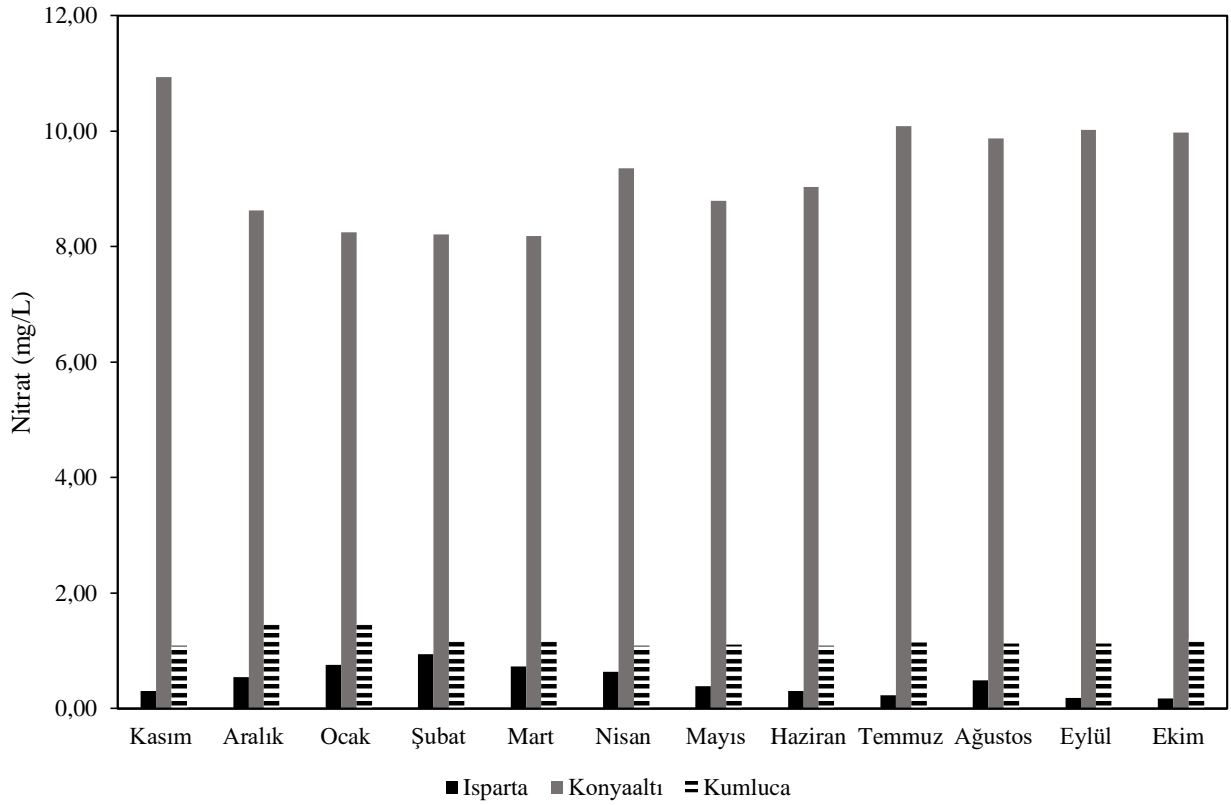
İçme suyu arıtma tesisi çıkışından son kullanıcıya kadar mikrobiyal kalitenin sağlanması amacıyla bakiye dezenfektanın olması gerekir. Şebekede bakiye dezenfektanın mevcudiyeti DYÜ oluşumunu devam etmesine olanak sağlayabilmektedir. Bu bağlamda şebekede farklı noktalarda su kalite parametrelerinin izlenmesi önemlidir. Her bir şebeke bölgesinde 12 ay boyunca ölçülen TA konsantrasyonları Şekil 4'te gösterilmektedir. Isparta şebekesi için mevsimsel değişim gözlenmiştir ancak bu şebekeye farklı oranlarda Eğirdir Gölü ve Darıderesi Barajı karıştırılarak su verildiği için mevsimsel değişiminin sebebini net olarak açıklamak zordur. Isparta içme suyu şebekesinde ölçülen en yüksek TA konsantrasyonu 0,48 mg/L, en düşük TA konsantrasyonu ise 0,17 mg/L'dir. Isparta içme suyu şebekesinin yıllık ortalama TA konsantrasyonu 0,33 mg/L'dir. Kumluca şebekesi için TA konsantrasyonlarının mevsimsel değişim olmasına rağmen net bir şekilde gözlenememiştir. Kumluca içme suyu şebekesi TA konsantrasyonu Isparta içme suyu şebekesine oldukça benzerdir. En yüksek TA konsantrasyonu 0,46 mg/L, en düşük TA konsantrasyonu 0,24 mg/L, yıllık ortalama TA konsantrasyonu ise 0,34 mg/L'dir. Konyaaltı (Antalya) içme suyu şebekesinde en yüksek TA konsantrasyonu Kasım numune alma döneminde 2,98 mg/L olarak, en düşük TA konsantrasyonu Haziran döneminde 1,66 mg/L olarak ölçülmüştür. Tüm yıl boyunca ortalama TA konsantrasyonu ise 2,34 mg/L olarak hesaplanmıştır. Konyaaltı içme suyu şebekesinde TA konsantrasyonunun diğer içme suyu şebekelerinden yüksek olması su kaynağının yeraltı suyu olması ile açıklanabilir. Karadirek vd., (2012) tarafından Konyaaltı içme suyu şebekesi su kalitesi izleme çalışmalarında da en yüksek TA konsantrasyonu 5,60 mg/L, en düşük TA konsantrasyonu 0,28 mg/L, ortalama TA konsantrasyonu ise 1,09 mg/L olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4. İçme Suyu Şebekelerinde toplam azot değerleri (Total nitrogen values in drinking water distribution systems)

Isparta içme suyu şebekesinde ölçülen yıllık ortalama nitrat konsantrasyonu ise 0,47 mg/L olarak belirlenmiştir. Konyaaltı şebekesi için yıllık ortalama nitrat azotu konsantrasyonu ise 9,28 mg/L olarak tespit edilmiştir. Kumluca içme suyu şebekesinde ise en yüksek nitrat konsantrasyonu 2,33 mg/L, en düşük nitrat konsantrasyonu 1,05 mg/L, yıllık ortalama nitrat konsantrasyonu da 1,19 mg/L olarak ölçülmüştür. İçme suyu şebekeleri “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” kapsamında değerlendirilmektedir. Yönetmelik gereği nitrat azotu için müsaade edilen en yüksek değer 50 mg/L (İTASHY, 2005). Kitiş vd., (2010) Antalya bölgesinde yeraltı su kaynağında gerçekleştirdikleri çalışmada nitrat azotu konsantrasyonunun en yüksek değerini 17,8 mg/L, en düşük konsantrasyonunu 4,1 mg/L, yıllık ortalama nitrat azotu konsantrasyonunu ise 9,82 mg/L olarak tespit etmişlerdir. Antalya Büyükşehir Belediyesi Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü (ASAT) tarafından gerçekleştirilen analizlerde ise en düşük nitrat azotu konsantrasyonu 9,57 mg/L, en yüksek nitrat azotu konsantrasyonu 12,14 mg/L, numune alma dönemi ortalama nitrat azotu konsantrasyonu ise 10,56 mg/L'dir (ASAT, 2015) ve çalışma kapsamında ölçülen değerler ile benzerlik göstermektedir. İçme suyu şebekelerinin nitrat azotu konsantrasyonları Şekil 5'te gösterilmektedir. Her üç şebekede de numune alma dönemi boyunca izlenen nitrat ve nitrit konsantrasyonları müsaade edilen değerlerin altındadır.

Isparta, Konyaaltı ve Kumluca içme suyu şebekeleri numune alma döneminde elde edilen yıllık ÇOA konsantrasyonları Tablo 5'te verilmiştir. Isparta, Konyaaltı ve Kumluca su şebekelerinde sırasıyla yıllık ortalama ÇOA değeri 0,23 mg/L, 0,30 mg/L ve 0,12 mg/L'dir. Konyaaltı (Antalya) içme suyu şebekesinde diğer iki şebekeye kıyasla çok daha yüksek konsantrasyonda TA ve nitrat azotu ölçüldüğü için her üç şebeke için ÇOA konsantrasyonları birbirlerine oldukça yakındır. Yapılan başka bir çalışmada, toplam 28 içme suyu arıtma tesisinde ortalama ÇOA konsantrasyonu ham su ve arıtılmış su için sırasıyla 0,19 ve 0,15 mg N/L olarak tespit edilmiştir (Westerhoff vd., 2006). ÇOA değerleri her üç su şebeke sisteminde de yıl boyunca belirgin bir değişim göstermemiştir. Değişim olmamasının sebebi şebeke boyunca organik azot bozunmasının çok az olması ile açıklanabilir. Ayrıca şebeke boyunca oluşan A-DYÜ türleri ölçülmeli ve ÇOK-DYÜ arasındaki ilişki tespit edilmelidir.

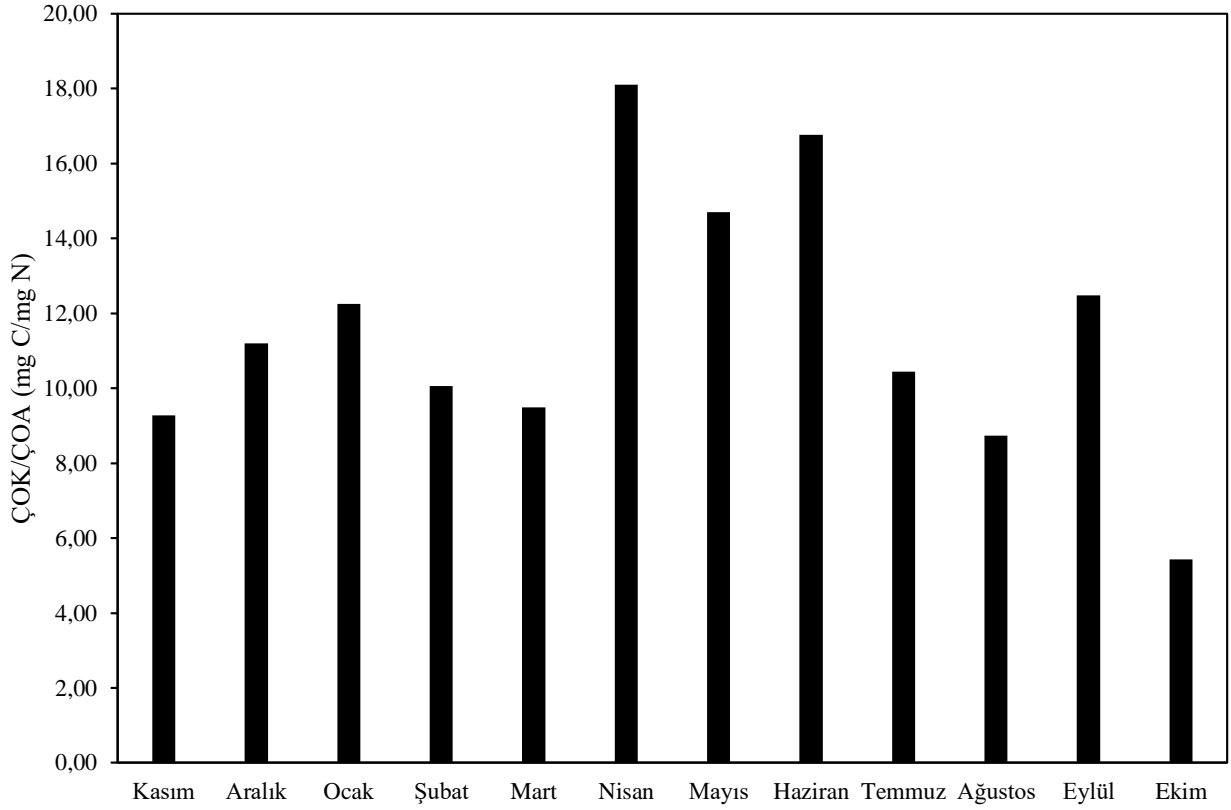


Şekil 5. İçme Suyu Şebekelerinde Nitrat azotu Değerleri (Nitrate values in drinking water distribution systems)

Tablo 5. İçme Suyu Şebekelerinde ÇOA değerleri (DON values in drinking water distribution systems)

	Isparta ÇOA (mg/L)	Standart Sapma	Konyaaltı ÇOA (mg/L)	Standart Sapma	Kumluca ÇOA (mg/L)	Standart Sapma
Kasım	0,25	<±0,01	0,30	<±0,01	0,12	<±0,01
Aralık	0,17	<±0,01	0,32	<±0,01	0,14	<±0,01
Ocak	0,15	<±0,01	0,39	<±0,01	0,13	<±0,01
Şubat	0,22	<±0,01	0,32	<±0,01	0,11	<±0,01
Mart	0,14	<±0,01	0,26	<±0,01	0,12	<±0,01
Nisan	0,19	<±0,01	0,34	<±0,01	0,10	<±0,01
Mayıs	0,23	<±0,01	0,25	<±0,01	0,11	<±0,01
Haziran	0,15	<±0,01	0,29	<±0,01	0,10	<±0,01
Temmuz	0,22	<±0,01	0,21	<±0,01	0,09	<±0,01
Ağustos	0,25	<±0,01	0,20	<±0,01	0,11	<±0,01
Eylül	0,36	<±0,01	0,39	<±0,01	0,14	<±0,01
Ekim	0,37	<±0,01	0,30	<±0,01	0,11	<±0,01

Her bir şebeke için ÇOK/ÇOA oranları hesaplanmıştır ve Isparta şebekesi için elde edilen ÇOK/ÇOA oranları Şekil 6'da gösterilmektedir. ÇOK/ÇOA oranında en fazla mevsimsel değişim Isparta şebekesinde tespit edilmiştir. Diğer şebekelerde ÇOK/ÇOA oranları 5 mg C/mg N'un altındadır. Konyaaltı ve Kumluca şebekelerinde ÇOK değerleri düşük olduğu için ÇOK/ÇOA oranı Isparta şebekesine göre düşüktür. ÇOK/ÇOA oranının düşük çıkması, A-DYÜ oluşum potansiyelinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. Isparta şebekesinde Kasım-Ekim dönemi ÇOK/ÇOA değerleri (DOC/DON values for Isparta distribution system in November-October period)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada içme suyu arıtımında oluşan dezenfeksiyon yan ürünlerinin önemli öncül maddelerinden biri olan ÇOA'nın, su kaynaklarında ve şebekelerde bir yıl süre ile aylık izlemesi gerçekleştirilmiştir. Eğirdir Gölü ve Karaağaç su kaynağı için sırasıyla yıllık ortalama ÇOA değeri 0,34 ve 0,20 mg/L olarak hesaplanmıştır. ÇOA, Isparta içme suyu şebekesinde ortalama 0,23 mg/L, Konyaaltı (Antalya) şebekesinde ortalama 0,30 mg/L, Kumluca (Antalya) içme suyu şebekesinde ise ortalama 0,12 mg/L olarak bulunmaktadır. Karaağaç su kaynağı ÇOK/ÇOA değerleri 1-8,9 mg C/mg N arasında değişmektedir. Karaağaç doğal su kaynağı gibi düşük ÇOK/ÇOA oranlarına sahip sulara A-DYÜ oluşabileceği bilinmektedir. Bu sebeple sulara çok düşük miktarlarda bulunmasına rağmen ÇOA, içme suyu temininde ve arıtımında giderek daha çok önem kazanan bir parametredir. Tarımsal faaliyetler, evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları, alg faaliyetlerinin artması gibi nedenlerle içme suyu kaynaklarındaki çözünmüş organik azot (ÇOA) konsantrasyonları artmaktadır. Özellikle atıksu arıtma tesisi çıkışlarında çözünmüş organik azot konsantrasyonları yüksektir. İçme suyu kaynaklarının atıksu deşarjları ve tarımsal kaynaklı azot kirliliklerinden korunması oldukça önem arz etmektedir (Davraz vd., 2016). Özellikle DYÜ standartlarının sıklaşması ve her bir DYÜ türü için standartların getirilmesinin gündemde olduğu bu günlerde, DYÜ oluşum mekanizmalarının anlaşılması oldukça önemlidir. DOM, bromür gibi organik ve inorganik DYÜ öncüllerinin yanı sıra içme suyu kaynaklarında ÇOA parametresinin, özellikle A-DYÜ oluşumu ve kontrolü açısından izlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma ülkemizde farklı içme suyu kaynaklarında ve şebekelerde ÇOA parametresinin yıllık olarak izlendiği ilk çalışma olması açısından önem arz etmektedir. Ülkemizde ÇOA ile ilgili (1) analitik ölçüm, (2) miktarı, (3) yapısal bileşimi ve (4) arıtılabilirlik ile ilgili çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Tesekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma 4722-D2-16 No'lu Proje ile Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı tarafından desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Al-Omari, A., Muhammetoğlu, A., Karadirek, E., Jiries, A., Batarseh, M., Topkaya, B., Soyupak, S., 2014. A Review on Formation and Decay Kinetics of Trihalomethanes in Water of Different Qualities. *Clean-Soil, Air, Water*, 42(12), 1687–1700.
- APHA, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, Washington DC.
- ASAT, 2015. Antalya Büyükşehir Belediyesi, Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü, Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, Su Kalite Kontrol Laboratuvarı, Laboratuvar Şube Müdürlüğü (Web Sitesi: https://www.asat.gov.tr/tr/su_kalite.html).
- Bazri, M. M., Martijn, B., Kroesbergen, J., Mohseni, M., 2016. Impact of anionic ion exchange resins on NOM fractions: Effect on N-DBPs and C-DBPs precursors. *Chemosphere*, 144, 1988–1995.
- Bond, T., Templeton, M. R., Graham, N., 2012. Precursors of nitrogenous disinfection by-products in drinking water—A critical review and analysis. *Journal of Hazardous Materials* 235–236 1–16.
- Bond, T., Kamal, N. H. M., Bonniseau, T., Templeton, M. R., 2014. Disinfection by-product formation from the chlorination and chloramination of amines. *Journal of Hazardous Materials*, 278, 288–296.
- Bulut, C., Kubilay, A., 2019. Eğirdir Gölü (Isparta/Türkiye) su kalitesinin mevsimsel değişimi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 36(1), 13-23. DOI: 10.12714/egejfas.2019.36.1.02
- Chang, H., Chen, C., Wang, G., 2013. Characteristics of C-, N-DBPs formation from nitrogen enriched dissolved organic matter in raw water and treated wastewater effluent. *Water Research* 47, 2729-2741.
- Chhipi-Shrestha, G., Rodriguez, M., Sadiq, R., 2018. Unregulated disinfection by products in drinking water in Quebec: A meta-analysis. *Journal of Environmental Management* 223, 984–1000.
- Chu, W., Gao, N., Yin, D., Krasner, S. W., 2013. Formation and speciation of nine haloacetamides, an emerging class of nitrogenous DBPs, during chlorination or chloramination. *Journal of Hazardous Materials* 260, 806–812.
- Davraz, A., Şener, Ş., Şener, E., 2016. Su Kaynaklarının Kullanma ve Koruma Metodolojisinin Geliştirilmesi: Eğirdir Gölü Havzası Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 4(3), 227-238.
- Ding, S., Chu, W., 2017. Recent advances in the analysis of nitrogenous disinfection by-products. *Trends in Environmental Analytical Chemistry* 14, 19–27.
- Du, Y., Zhang, X., Li, C., Wu, Q. Y., Huang, H., Hu, H. Y., 2017. Transformation of DON in reclaimed water under solar light irradiation leads to decreased haloacetamide formation potential during chloramination. *Journal of Hazardous Materials* 340, 319–325.
- Fan, Z., Gong, S., Xu, X., Zhang, X., Zhang, Y., Yu, X., 2014. Characterization, DBPs formation, and mutagenicity of different organic matter fractions in two source waters. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 217, 300–306.
- Gan, X., Karanfil, T., Kaplan Bekaroglu, S. S., Shan J., 2013. The control of N-DBP and C-DBP precursors with MIEX®. *Water Research* 47, 1344-1352.
- Güneş, K., Dönertaş, S.A., Metin, E., Şenduran, C., Dikerler, T., Arlı, Ö., Olgun, A., Aktaş, Ö., Aydoğan, C., Özdemir, Ö., Ayaz, S., Tüfekçi, H., Tüfekçi, V., Atabay, H., Mantıkçı, A.M., İnal, Ö., Kara, E., Konya, Y., Sapmaz, K., Çelik, S., Enginsoy, G., Yakupoğlu, G., Çelemen, M., 2011. İçme ve kullanma suyu kaynağı olarak kullanılan Eğirdir gölü havza koruma planı ve özel hüküm belirlenmesi projesi. Proje Sonuç Raporu. Proje no:5098116. TÜBİTAK-MAM, Gebze, Kocaeli, 400 s.
- Hong, H., Xiong, Y., Ruan, M., Liao, F., Lin, H., Liang, Y., 2013. Factors affecting THMs, HAAs and HNMs formation of Jin Lan Reservoir water exposed to chlorine and monochloramine. *Science of the Total Environment* 444 196–204.
- Hu, H., Jiang, C., Ma, H., Ding, L., Geng, J., Xu, K., Huang, H., Ren, H., 2017. Removal characteristics of DON in pharmaceutical wastewater and its influence on the N-nitrosodimethylamine formation potential and acute toxicity of DOM. *Water Research* 109, 114-121.
- Hu, J., Chu, W., Sui, M., Xu, B., Gao, N., Ding, S., 2018. Comparison of drinking water treatment processes combinations for the minimization of subsequent disinfection by-products formation during chlorination and chloramination. *Chemical Engineering Journal* 335, 352–361.
- Hua, G., Reckhow, D. A., Abusallout, I., 2015. Correlation between SUVA and DBP formation during chlorination and chloramination of NOM fractions from different sources. *Chemosphere*, 130, 82–89.
- İTASHY, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. Resmî Gazete Tarihi: 17.02.2005 Resmî Gazete Sayısı: 25730
- Karadirek, İ. E., Kara, S., Yılmaz, G., Altındal, T., Muhammetoğlu, H., Muhammetoğlu, A., Kitiş, M., Soyupak, S., Yiğit, N. Ö., Harman, B. İ., Palancı, İ., Özden, T., Cengiz, K., 2012. Antalya Konyaaltı Bölgesi İçme Suyu Kalitesinin İzlenmesi ve Yönetimi. *Çevre Bilim & Teknoloji Teknik Dergi*.
- Kaplan Bekaroglu, Ş. Ş., 2013. Çevre Mühendisliği ve Bilimi için Kimya, Bölüm 25: Azot (Chemistry for Environmental Engineering and Science, Chapter 25: Nitrogen, Çeviri), Nobel Akademik Yayıncılık, Ed: İsmail Toröz, Nisan 2013.
- Kitiş, M., Yiğit, N. Ö., Harman, B. İ., Muhammetoğlu, H., Muhammetoğlu, A., Karadirek, İ. E., Demirel, İ., Özdenç, T., Palancı, İ., 2010. Occurrence of Trihalomethanes in Chlorinated Groundwaters with Very Low Natural Organic Matter and Bromide Concentrations. *Environmental Forensics*, 11:264–274.
- Krasner, S. W., Mitch, W. A., McCurry, D. A., Hanigan, D., Westerhoff, P., 2013. Formation, precursors, control, and occurrence of nitrosamines in drinking water: A review. *Water Research* 47, 4433-4450.
- Kristiana, I., Liew, D., Henderson, R. K., Joll, C. A., Linge, K. L., 2017. Formation and control of nitrogenous DBPs from Western Australian source waters: Investigating the impacts of high nitrogen and bromide concentrations. *Journal of Environmental Sciences*, 58, 102-115.
- Kumari, M., Gupta S.K., 2015. Modeling of trihalomethanes (THMs) in drinking water supplies: a case study of eastern part of India. *Environ Sci Pollut Res* 22:12615–12623.
- Lee, W., Westerhoff, P., Croue J.P., 2007. Dissolved organic nitrogen as a precursor for chloroform, dichloroacetonitrile, N-nitrosodimethylamine, and trichloronitromethane. *Environ. Sci. Technol.*, 41 (15) (2007), pp. 5485-5490.
- Lin, J., Chen, X., Zhu, A., Hong, H., Liang, Y., Sun, H., Lin, H., Chen, J., 2018. Regression models evaluating THMs, HAAs and HANs formation upon chloramination of source water collected from Yangtze River Delta Region, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 160, 249–256.

- Lu, C., Li, S., Gong, S., Yuan, S., Yu, X., 2015. Mixing regime as a key factor to determine DON formation in drinking water biological treatment. *Chemosphere* 139, 638–643.
- Mishra, B. K., Priya, T., Gupta, S. K., Sinha, A., 2016. Modeling and Characterization of Natural Organic Matter and Its Relationship with The THMs Formation. *Global NEST Journal*, Vol 18, No 4, pp 803-816.
- Özgür, C., 2019. Farklı Su Kaynaklarında ve Şebekelerde Karbonlu ve Azotlu Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Oluşumu. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Rook, J. J., 1974. Formation of haloforms during chlorination of natural water, *Water Treat. Exam.* 23 234–243.
- Şener, E., Varol, S., Şener, Ş., Davraz, A., 2019. Assessment of The Stream Network Pollution in The Eğirdir Lake Basin (Turkey) Using Water Quality Index and Multivariate Analysis. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 7(2), 352 – 368.
- Tan, Y., Lin, T., Jiang, F., Dong, J., Chen, W., Zhou, D., 2017. The shadow of dichloroacetonitrile (DCAN), a typical nitrogenous disinfection by-product (N-DBP), in the water works and its backwash water reuse. *Chemosphere* 181, 569-578.
- USEPA, 1993. "Method 350.1: Nitrogen, Ammonia (Colorimetric, Automated Phenate)," Revision 2.0. Cincinnati, OH
- Uzun, H., Kim, D., Karanfil, T., 2015. Seasonal and temporal patterns of NDMA formation potentials in surface waters. *Water Research* 69, 162-172.
- Westerhoff, P., Mash, H., 2002. Dissolved organic nitrogen in drinking water supplies: a review. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*.
- Xue, C., Wang, Q., Chu, W., Templeton, M. R., 2014. The impact of changes in source water quality on trihalomethane and haloacetonitrile formation in chlorinated drinking water. *Chemosphere*, 117, 251–255.
- YSKY, 2012. Yerüstü Su Kalite Yönetmeliği. Resmî Gazete Tarihi: 30.11.2012 Resmî Gazete Sayısı: 28483